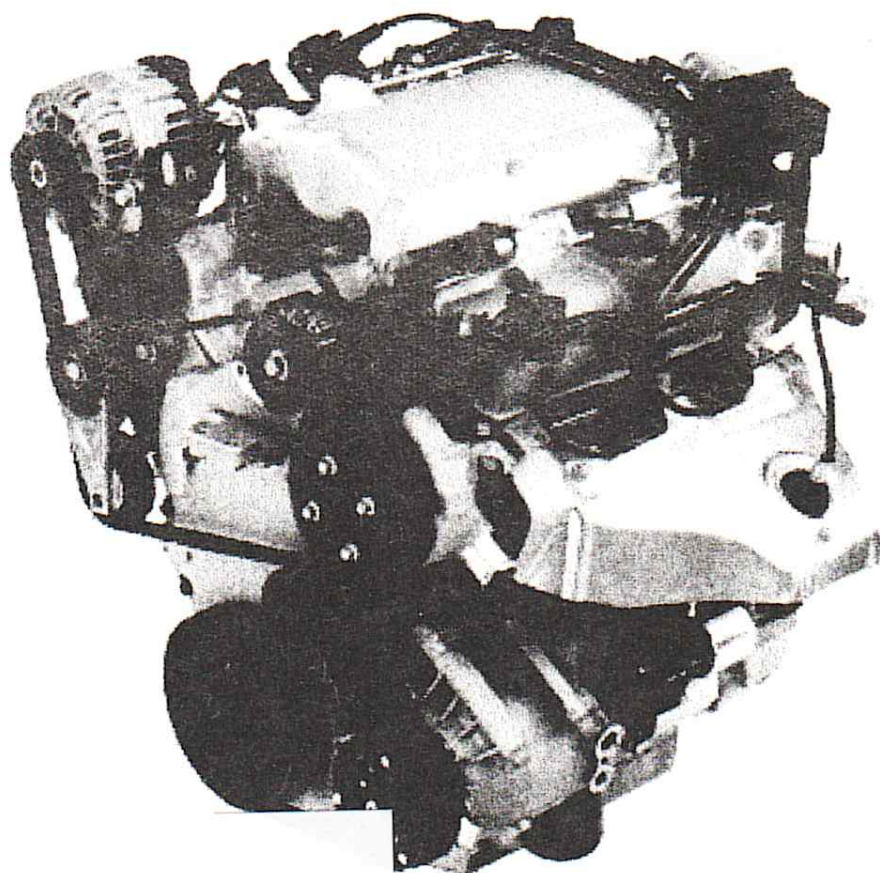


Мәгъзүмжанов Р.Ф.

АВТОМОБИЛЬ ДВИГАТЕЛЬЛӘРЕ



Яр Чаллы – 2009

**МӘГАРИФ БУЕНЧА ФЕДЕРАЛЬ АГЕНТЛЫК
ЮГАРЫ ҺӨНӘРИ БЕЛЕМ БИРҮ ДӘҮЛӘТ МӘГАРИФ
УЧРЕЖДЕНИЕСЕ
“КАМА ДӘҮЛӘТ ИНЖЕНЕР-ИКЪТИСАД
АКАДЕМИЯСЕ”**

МӘГЪЗҮМЖАНОВ РАДИК ФААТОВИЧ

**АВТОМОБИЛЬ
ДВИГАТЕЛЬЛӘРЕ**

*Татарстан Республикасы мәгариф Министрлыгы
тарафыннан “Автомобиль һәм автомобиль хужалыгы”
белгечлегенә укучы студентлар өчөн тәкъдим ителә*

Яр Чаллы – 2009 ел

УДК 621.431.73

М 12

Татарстан Республикасы мәгариф Министрлыгы тарафыннан
“Автомобильләр һәм автомобиль хужалыгы” белгечлегенә
укучы студентлар өчен тәкъдим ителә

Рецензент: техник фәннәре кандидаты, доцент Хабибуллин Р.Г.

Мәгъзүмжанов Р.Ф.

Автомобиль двигательләре. 190601 – “Автомобильләр һәм автомобиль хужалыгы” белгечлегенә укучы студентлар өчен уку әсбабы: - Яр Чаллы: ИНЭКА, 2009. – 239 бит.

ISBN 978-5-9536-0189-4

Уку әсбабы хәзерге заман автомобиль двигательләрен исәпләүнең системалаштырылган методикасын һәм мөһим мәгълүматларны үз эченә ала. Жылылык исәпләүләренен динамик һәм двигатель детальләренен чыдамлылыкка исәпләүләре арасындагы үзара бәйләнеш карбюраторлы һәм дизель двигательләре мисалында күрсәтелгән. Уку әсбабы югары уку йортларында татар телендә белем алучы студентларга юллана. Аннан двигательләрен проектлау һәм исәпләү белән шөгыльләнүче инженерлар файдалана ала.

2 нче басма, эшкәртелгән

ISBN 978-5-9536-0189-4

© Магзумьянов Р.Ф., 2009 год

© Камская государственная инженерно-
экономическая академия, 2009 год

1. АВТОМОБИЛЬ ДВИГАТЕЛЬЛӘРЕНЕҢ ТЕОРИЯСЕ

1.1. ЭЧКЕ ЯНУЛЫ ДВИГАТЕЛЬ (ЭЯД) ҺӘМ МОТОР ӨЧЕН ЯГУЛЫКЛАР ТУРЫНДА ГОМУМИ МӘГЪЛУМАТЛӘР

1.1.1. ЭЯД - ягулыкның химик энергиясен механик эшкә әверелдерүче машина

Двигательгә ягулык һәм аны окисьлаштыру өчен һава бирелә. Ягулык – һава катнашмасы януы нәтижәсендә жылылык барлыкка килә. Термодинамик процесслар ярдәмендә бу жылылык эшче жисемнең (яну продуктларының) механик энергиясенә күчә, ә соңыннан двигательнең терсәкле валыннан алынган механик эшкә әверелә.

Ягулык химик энергиягә ия, ул сыек яисә газ рәвешендә булырга мөмкин. Каты ягулыкны куллану өчен аны газга әверелдергеч, ягъни газ генераторы кирәк була. Турыдан-туры каты ягулык эчке янулы двигательдә гадәттә кулланылмый.

Окисьлаштыручы – ул ягулык яну өчен кирәкле компонент, аннан башка яну процессы була алмый. ЭЯДда бу атмосфера һавасы.

Эшче катнашма – газ рәвешендәге (ягъни парга әйләнгән хәлдәге) ягулык белән һава катнашмасы, шуны әйтергә кирәк, бу катнашма ягулыкның оптималь дәрәжәдә януын тәмин итәргә тиеш.

1.1.2. Автомобиль двигательләренең төрләре

1. Эшче катнашманы кабызу ысулы буенча: электр очкыныннан (ягъни тышкы жылылык чыганагыннан) яисә кысылган һава жылысыннан кабына торган двигательләр.

2. Нинди ягулыкта эшләвенә карап: бензин, дизель ягулыгы, газ белән, катнаш ягулыкта (мәсәлән, дизель ягулыгы һәм газ) һәм күп төрле ягулыкта эшли торган двигательләр.

3. Суыту системасы буенча: сыеклык яисә һава белән суы-

тылучы двигательләр.

4. Цилиндры урнашуга карап: рәтлеләр, V-рәвешле яисә йолдызсыман:

- рәтле 1; 2; 3; 4 һәм 6 цилиндрлы;
- V-рәвешле 2; 4; 6 һәм 12 цилиндрлы;
- йолдызсыман 5; 7; 9; 14; 18 һәм 24 цилиндрлы двигательләр.

5. Эш нигезенә карап: дүрт һәм ике тактлы двигательләр.

6. Янучан катнашманы хәзерләү буенча: катнашманы тышта (карбюраторлы яисә инжекторлы) һәм цилиндр эчендә (дизель) хәзерли торган двигательләр.

7. Цилиндрга һава (катнашма) тутырылу ысулына карап: цилиндрга һаваны суыру һәм кысылган һава өрдерү төрдәге двигательләр.

8. Цилиндрлар саны буенча: бер цилиндрлы һәм күп цилиндрлы двигательләр.

Болардан тыш двигательләр шулай ук үзләренң төп үлчәмнәре – цилиндрның диаметры, пешкәк йөреше, цилиндрларның күләме һ.б. параметрлары буенча да аерылып торырга мөмкин.

1.1.3. ЭЯДдә энергия үзгәрешенң принципияль схемасы



1 нче рәсем

Ягулыкның цилиндрда яну сыйфатын баяләү өчен эффектив файдалы эш коэффициенты (ф.э.к.) дигән төшенчә кертелә.

$$\eta_e = \frac{\text{двигательнең терсәкле валындагы файдалы механик эш}}{\text{ягулыкның химик энергиясе}}$$

Төрле двигательләрдә ягулыкның нинди дәрәжәдә бәрәкәтле файдалануын 1 нче таблицада күрергә мөмкин.

Гомуми экономиядән чыгып һәм егәрлекләрен иске алып, төрле транспорт чаралары өчен түбәндәге двигательләр кулай санала:

- жиңел мотоцикллар, моторлы көймәләр өчен – 2 тактлы бензин двигательләре;
- авыр мотоцикллар, жиңел автомобильләр, махсус автомобильләр, тулы авырлыгы 8 тоннага кадәр булган йөк автомобильләре өчен – 4 тактлы бензин һәм газ двигательләре;
- тулы авырлыгы 6 дан алып 200 тоннага кадәр булган йөк автомобильләре өчен – дизель двигательләре.

1 нче таблица

Двигатель	Егәрлек, КВт	η_e
Пешкәкле пар машинасы	≤ 8000	7 %ка кадәр
Пар турбинасы	8000...40000 һәм күбрәк тә	40...42%
4 тактлы өрдерүсез дизель	30...360	30...33%
4 тактлы өрдерүле дизель	100...3000	35...40%
4 тактлы бензин двигателе	20...3000	22...28%
2 тактлы бензин двигателе	1 ...20	15...18%
Газ турбины (жылылык алышыну белән)	150...40000 һәм күбрәк тә	35%ка кадәр
Газ турбинасы (жылылык алышынусыз)	хәзерге заман техникасында кулланылмый	15 %ка кадәр

1.1.4. Чагыштырма егәрлек

Чагыштырма егәрлек – двигатель егәрлегенә транспорт чарасының тулы массасына чагыштырмасы белән билгеләнә. Мәсәлән:

-жиңел һәм махсус автомобильләр өчен – $35...50 \text{ КВт/тонна}$;
-юлдан тыш йөри торган һәм махсус йөк автомобильләре өчен – $13...16 \text{ КВт/тонна}$;
-гомуми максатлы йөк автомобильләре өчен – $10...13 \text{ КВт/тонна}$.

Чагыштырма егәрлеге кечерәк кыйммәткә ия булган автомобильләрнең конкурентлык сәләте түбән, ә бик зур кыйммәткә ия булганнары экономияле була алмыйлар.

Мәсәлән, ЗАЗ-968 модельле жиңел автомобиль өчен:

$$\bar{N}_{\text{чагышт.}} = \frac{30,2 \text{ КВт}}{1,2 \text{ тонна}} = 25 \frac{\text{КВт}}{\text{тонна}},$$

ә ВАЗ-21093 жиңел автомобиле өчен:

$$\bar{N}_{\text{чагышт.}} = 40 \frac{\text{КВт}}{\text{тонна}};$$

КамАЗ-5320 йөк автомобиле өчен:

$$\bar{N}_{\text{чагышт.}} = \frac{155 \text{ КВт}}{15,3 \text{ тонна}} = 10 \frac{\text{КВт}}{\text{тонна}}.$$

1.1.5. Автомобиль двигателенә куелган таләпләр

1. Двигательнең егәрлеге ихтыяж дәрәжәдә (1.1.4 не кара).

2. Двигательнең чагыштырма массасы оптималь, кг/литр .

Мәсәлән, жиңел автомобиль өчен бензин двигателендә

$$G_{\text{чагышт.}} = 65...70 \text{ кг/литр};$$

йөк автомобиле өчен бензин двигателендә

$$G_{\text{чагышт.}} = 65...80 \text{ кг/литр};$$

йөк автомобиле өчен дизель двигателендә

$$G_{\text{чагышт.}} = 75...90 \text{ кг/литр}.$$

$G_{\text{чагышт.}}$ зур кыйммәткә ия булганда - двигательдә тиер ра-

циональ кулланылмый, э $G_{\text{чагышт.}}$ кечкенэ булса – двигательдэ картер житэрлек дэрэжэдэ нык түгел.

3. Двигательнең бәясе минималь булырга тиеш.

4. Двигательдэ легирланган чуен һәм легирланган корыч эзрәк куллануы.

5. Двигательдэ ягулыкның бәрәкәтле тотылуы.

Ягулыкның чагыштырма чыгымы түбәндәгечә исәпләнә:

$$g_e = \frac{G_T \text{ (бер сәгатътә яндырылган ягулык)} \text{ кг ягулык}}{N_e \text{ (файдалы егәрлек)} \text{ КВт} \cdot \text{сәгатъ}}.$$

6. Янып чыккан газларның минималь зарарлылыгы һәм төтенле булуы. ЭЕК ООН Евро-III нормалары: углеводородлар – 0,66 г/КВт·сәг, сөрөмле газ – 2,1 г/КВт·сәг, азот окислары- 5 г/КВт·сәг, каты кисәкчекләр - 0,1 г/КВт·сәг (цилиндр диаметры 100 мм түбән булган дизельләр өчен 0,13 г/КВт·сәг).

7. Двигательнең тавышы минималь булырга тиеш.

8. Хезмәт күрсәтүнең мөмкин кадәр гадил һәм көйләүләрнең минималь булуы.

9. Двигательнең ремонтка яраклы булуы.

10. Двигательнең зур ресурсы, иң камил дэрэжэдэ ул тулаем автотранспорт ресурсы белән тигез булырга тиеш.

11. Двигательне кабызуның зур ышанычлылыгы (һава температурасы $t = +50^{\circ}\text{C}$ дән...- 50°C гә кадәр булырга мөмкин).

1.1.6. Автомобиль двигательләре өчен ягулыклар

-Дизель ягулыкларының маркалары (ГОСТ 305-82 буенча): А – арктика, З – кышкы, Л – жәйге.

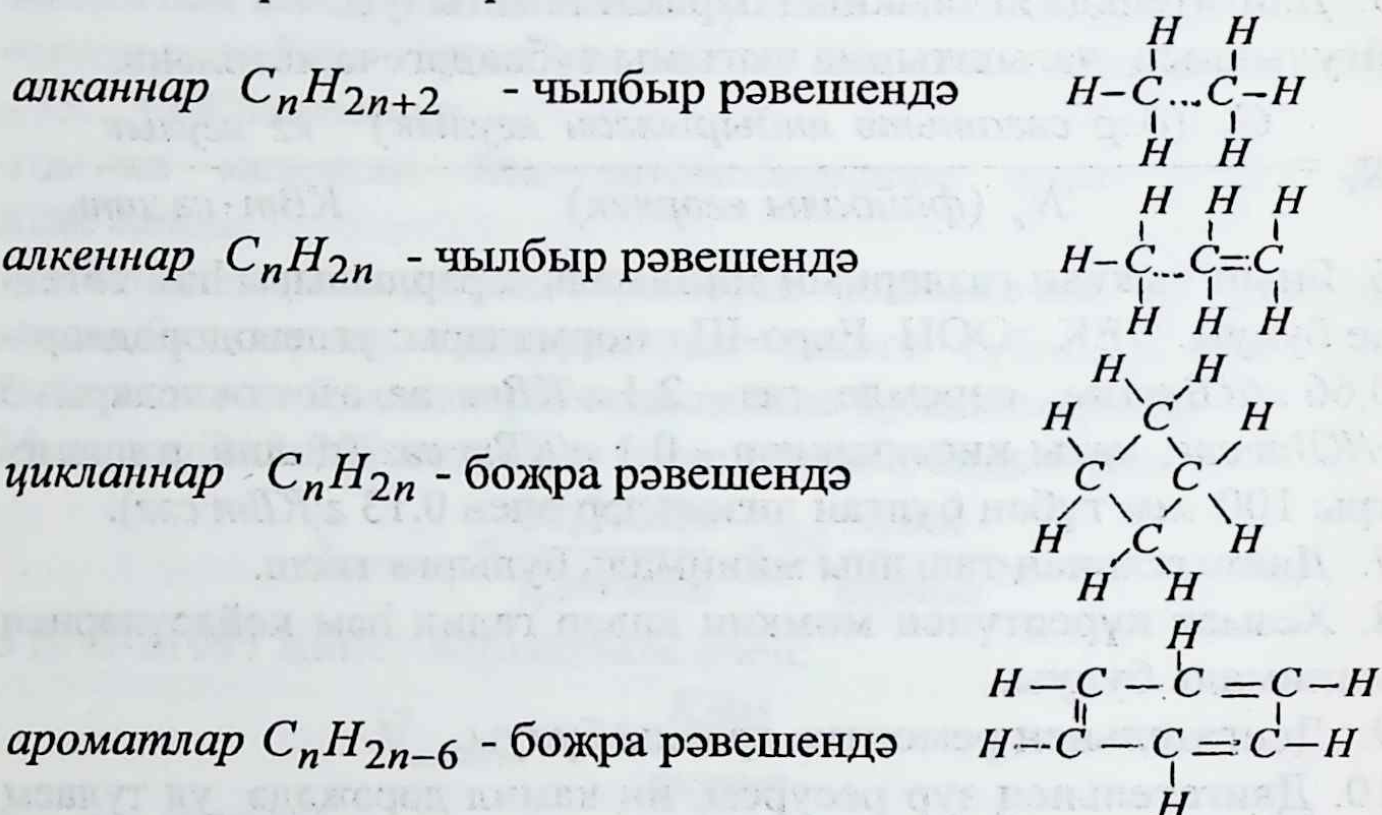
-Бензиннар: ГОСТ 2084-77 буенча: А-72, А-76, АИ-93, АИ-95 маркалы; ГОСТ Р 51105-97 буенча: Нормаль-80, Регуляр-91, Премиум-95 һәм Супер-98 маркалы.

-Альтернатив сыек ягулыклар: метанол, этанол, ШФС (киң фракцион составлы ягулык), синтетик ягулык.

-Табиғый һәм ясалма газлар: табиғый газларга метан, пропан, бутан һ.б. углеводород катнашмалары керә; ясалма

газларга кокс газы, биогаз һ.б. керә. Янучан газлар кысылучан һәм сыекланучан була. Сыекланучан газлар гадәти температурада кечкенә басым астында (1,5 МПа) сыек хәлгә күчә.

Дизель ягулыгы һәм бензин - алар нефтьне эшкәртүдән барлыкка килгән матдәләр. Нефть үзе төрле углеводород катнашмаларыннан тора:



Нормаль температура һәм басым астында төрле төркемдәге углеводородлар төрле агрегат хәлдә булырга мөмкиннәр:

- $n = 1 \dots 4$ – углеводородлар газ рәвешендә;
- $n = 5 \dots 12$ – сыек, жиңел хәрәкәтчән (бензин);
- $n = 13 \dots 17$ – сыек, майлы (дизель ягулыгы, майлар);
- $n > 18$ – каты хәлдә.

Углеводородларның кайнау температурасы молекуладагы углерод атомнарының саны белән билгеләнә. Нефтьне куу шуңа нигезләнә (2 нче таблица).

2 нче таблица

Ягулык	Куу температурасы	Барча нефть чималының өлеше, %ларда
бензин	50...180 ⁰ С	20%
керосин	180...300 ⁰ С	-
дизель ягулыгы	220...350 ⁰ С	20%

Төп ягулыкларның элементар составы:

Ягулык	<i>C</i> (углерод)	<i>H</i> (водород)	<i>O</i> (кислород)	<i>N</i> (азот)	<i>S</i> (күкерт)
мазут	0,85... 0,88	0,11.. 0,12	0,002	0,003	0,005... 0,02
Дизель ягулыгы	0,87	0,126	0,004	0	≤ 0,005
бензин	0,85	0,15	0	0	≤ 0,0015
метанол	0,375	0,125	0,5	0	0
этанол	0,522	0,13	0,348	0	0
метан	0,75	0,25	0	0	0
пропан	0,8182	0,1818	0	0	0
бутан	0,8276	0,1724	0	0	0

Бензинның якынча формуласы язарга мөмкин – $C_{8,2}H_{16,7}$, “З” маркалы дизель ягулыгы өчен – $C_{16}H_{28}O_{0,05}$. Шуңа күрә ягулыкның элементар составын 1 кг ягулыктагы һәр элементның микъдарында (кг) күрсәтәләр.

1.1.7. Бер кг ягулыкның янып бетүе өчен кирәк булган һаваның теоретик микъдарын билгеләү

Химик формулаларга таянып эш иткәндә 1 КМольне яисә 1 кг ягулыкны яндыру өчен кирәк булган һаваның микъдарын билгеләү жиңел. Мәсәлән: $C + O_2 = CO_2$.

Димәк, 1 КМоль углеродны яндыру өчен 1 КМоль кислород кирәк, яисә элементларның молекуляр массасын исәпкә алсак, 12 кг углеродка 32 кг кислород кирәк, димәк 1 кг

углеродка $\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$ кг кислород кирәк була. 1 кг дизель ягулыгында 0,87 кг углерод бар, ягъни

$$\frac{C}{12} = \frac{0,87}{12} \frac{\text{КМоль углерод}}{\text{кг дизель ягулыгы}}.$$

Димәк, 1 кг дизель ягулыгында булган углеродны яндыру

өчен $\frac{0,87}{12}$ КМоль кислород кирәк яисә $0,87 \frac{8}{3}$ кг кислород кирәк була.

Водород яндыру: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$. 1 КМоль водородны яндыру өчен ярты КМоль кислород таләп ителә (яисә 1 кг водородны яндыру өчен 8 кг кислород кирәк). 1 кг дизель ягулыгында 0,126 кг водород бар (яисә $\frac{H}{2}$ КМоль), ә яндыру өчен $\frac{H}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{H}{4} = \frac{0,126}{4}$ КМоль кислород кирәк.

Ягулыкта кислород та булырга мөмкин – аны кирәк булган кислородтан чигерергә кирәк. 1 кг ягулыкта $\frac{O}{32}$ КМоль ирекле булмаган кислород бар.

Димәк, составында C, H, O булган 1 кг ягулыкны яндыру өчен $(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32})$ КМоль яисә $(\frac{8}{3}C + 8H - O)$ кг кислород кирәк була. Әмма двигателдә ягулыкны яндыру өчен һава кулланыла. Һавадагы кислород күләме буенча 20,8%, ә массасы буенча 23%. Димәк, 1 кг ягулыкны тулысынча яндыру өчен таләп ителгән һава түбәндәгечә билгеләнә:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \frac{\text{КМоль һава}}{\text{кг ягулык}}; \quad (1.1)$$

яисә

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right) \frac{\text{кг һава}}{\text{кг ягулык}}; \quad (1.2)$$

Биредә, l_0 (L_0) – 1 кг (1 КМоль) ягулыкны яндыру өчен кирәк булган һаваның теоретик микъдары. Ягъни l_0 (L_0) – стехиометрик чагыштырма буенча 1 кг ягулыкны тулысынча яндыру өчен кирәк булган һаваның теоретик микъдаре.

Монда $l_0 = \mu_v \cdot L_0$, $\mu_v = 28,96 \text{ кг/КМоль}$ – 1 КМоль һаваның массасы (элементларның молекуляр массасын исәпкә алып).

Мәсәлән, 1 кг дизель ягулыгын яндыру өчен таләп итегән һава түбәндәгечә билгеләнә ала:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) =$$

$$= \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,4994 \frac{\text{КМоль һава}}{\text{кг ягулык}}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} 0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004 \right) =$$

$$= 14,452 \frac{\text{кг һава}}{\text{кг ягулык}};$$

Метанолны CH_3OH ($C=0,375$, $H=0,125$, $O=0,5$) яндыру өчен кирәк булган һава:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,375}{12} + \frac{0,125}{4} - \frac{0,5}{32} \right) = 0,2254 \frac{\text{КМоль һава}}{\text{кг ягулык}}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} 0,375 + 8 \cdot 0,125 - 0,5 \right) = 6,52 \frac{\text{кг һава}}{\text{кг ягулык}}$$

1.1.8. Артык һава коэффициенты турында төшенчә

Катнашманың сыйфатын артык һава коэффициенты α белән бәялиләр.

1 кг ягулыкны яндыруда катнашучы һаваның чынбарлыктагы микъдарының l (L) теоретик исәпләнгән микъдарына l_0 (L_0) чагыштырмасы *артык һава коэффициенты* дип атала

$$\alpha = l / l_0 = L / L_0.$$

Двигательгә кергән һава һәм теоретик кирәк булган һава микъдары тигез булса, бу нормаль катнашма дип атала ($\alpha = 1$).

“Бай” катнашма – ул теоретик яктан ягулыкны тулысынча яндыруга караганда хава аз булган очрак ($\alpha < 1$). Димэк, бу очракта катнашмада ягулык күбрэк була.

“Ярлы” катнашма - бу вакытта хава артык була ($\alpha > 1$).

Бик бай ($\alpha < 0,4$) һәм бик ярлы ($\alpha > 1,4$) катнашмалар янмый (бензинда эшләүче двигательләрдә). Ярлы катнашмаларда двигатель бәрәкәтлерәк (экономлы) эшли, чөнки ягулык тулысынча янып бетергә мөмкин.

Бензинда эшләүче двигательләрдә:

$$\alpha_{\text{егәрлек}} = 0,88 \dots 0,94 \text{ (уртача } \alpha = 0,9);$$

$$\alpha_{\text{эконом.}} = 1,05 \dots 1,15 \text{ (уртача } \alpha = 1,1).$$

Дизель ягулыгында эшләүче двигательләрдә:

$$\alpha_{\text{min}} = 1,4 \text{ (төтенсез булган шартлар буенча);}$$

$$\alpha_{\text{эконом}} = 2.$$

Газда (кысылган газ) эшләүче двигательләрдә:

$$\alpha_{\text{егәрлек}} = 1,0;$$

$$\alpha_{\text{эконом}} = 1,57.$$

1.1.9. Саф катнашма

Ягулыкның хава белән катнашмасы “саф катнашма” яисә “янучы катнашма” дип атала. Ул чагында 1 кг ягулыкка туры килүче саф катнашма түбәндәгечә була:

$$M_1 = (\alpha \cdot L_o \frac{\text{КМоль хава}}{\text{кг ягулык}} + \frac{1}{m_T} \frac{\text{КМоль ягулык}}{\text{кг ягулык}}) \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}}$$

монда m_T - ягулыкның молекуляр массасы.

5 нче таблица

ягулык	дизель ягулыгы	бен- зин	эта- нол	мета- нол	бу- тан	про- пан	ме- тан	водо- род
m_T , кг/КМоль	220	115 ± 5	46	32	58	44	16	2

Шулай итеп, 1кг ягулыкка туры килүче саф катнашма түбәндәгечә исәпләнә:

бензин өчен:

$$M_{I \text{ егәрл.}} = 0,9 \cdot 0,516 + \frac{1}{115} = 0,4731 \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}} -$$

- егәрлек составы;

$$M_{I \text{ экон.}} = 1,1 \cdot 0,516 + \frac{1}{115} = 0,5763 \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}} -$$

- экономияле состав;

метанол өчен:

$$M_{I \text{ егәрл.}} = 0,98 \cdot 0,2254 + \frac{1}{32} = 0,252 \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}} -$$

-егәрлек составы;

метан өчен:

$$M_{I \text{ егәрл.}} = 1 \cdot 0,601 + \frac{1}{16} = 0,6635 \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}} -$$

-егәрлек составы;

$$M_{I \text{ экон.}} = 1,57 \cdot 0,601 + \frac{1}{16} = 1,006 \frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}} -$$

-экономияле состав.

Димәк, 1 КМоль саф катнашмада ягулыкны төрле режимда төрле күләмдә яндырырга мөмкин:

бензинны – егәрлекле режимда 2,1 кг һәм экономияле режимда 1,74 кг;

метанолны - егәрлекле режимда 4 кг;

метанны – егәрлекле режимда 1,5 кг һәм экономияле режимда 1 кг.

1. 1.10 Ярлы һәм стехиометрик катнашмаларның яну продуктары составы

Алда күрсәтелгәнчә, ягулыкны тулысынча яндыру өчен һава җитәрлек дип фараз итәбез.

$C + O_2 = CO_2$: димәк, 1 КМоль углеродка 1 КМоль CO_2 була, ә $\frac{C}{12}$ КМоль углеродка - $\frac{C}{12}$ КМоль CO_2 .

$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$: димәк, 1 КМоль водородка 1 КМоль су, ягъни $\frac{H}{2}$ КМоль водородка $\rightarrow \frac{H}{2}$ КМоль су, ә 1 кг водородка 9 кг су туры килә.

Реакцияләрдә һавадагы азот катнашмады, аның күләме 0,792. Димәк, яну продуктларында

$$0,792\alpha \cdot L_0 \frac{\text{КМоль азот}}{\text{кг янган ягулык}}.$$

Ярлы катнашма өчен ($\alpha > 1$) кислородның бер өлеше кулланылмаячак, ягъни $0,208 \cdot L_0 \frac{\text{КМоль кислород}}{\text{кг ягулык}}$ өлеше генә

кулланыла, ә барлығы $0,208 \cdot \alpha \cdot L_0$ кислород бар. Димәк,

$$0,208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 \frac{\text{КМоль кулланылмаган кислород}}{\text{кг янган ягулык}} \text{ кала.}$$

1 кг ягулык тулысынча янган вакытта M_2 КМоль яну продуктлары барлыкка килә, M_2 эченә M_{CO_2} , M_{H_2O} , M_{N_2} , M_{O_2} лар керәчәк.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} + M_{O_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 + 0,208(\alpha - 1)L_0 \frac{\text{КМоль яну продуктлары}}{\text{кг янган ягулык}}$$

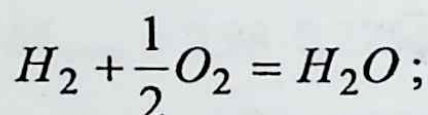
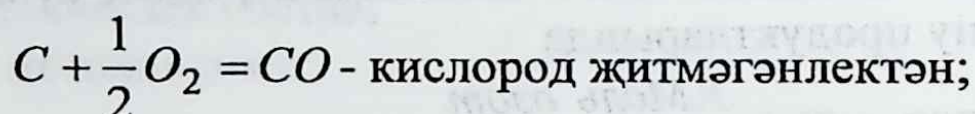
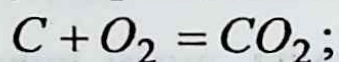
$\frac{M_2}{M_1}$ чагыштырмасын ягулык катнашмасының молекуляр

үзгөрүенен химик коэффициенты дип атыйлар: $\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}$.

Дизель ягулыгы һәм бензин өчен $\mu_0 = 1,08 \dots 1,04$, табигый газ өчен $\mu_0 = 1$, водород өчен $\mu_0 < 1$.

1.1.11. Бай катнашманың яну продуктлары составы

Бу очракта ягулыктагы углерод һәм водородның окислашуы түбәндәге химик тигезләмәләргә туры килә:



H_2 - кислород житмәгәнлектән.

Эксперимент нәтижеләреннән водород һәм сөрөмле газ мольләре арасында үзара бәйләнеш билгеләнә

$$\frac{M_{H_2}}{M_{CO}} = \kappa. \quad (1.3)$$

Бензин өчен $\kappa = 0,45 \dots 0,5$.

Бай катнашма очрагында ($\alpha < 1$) яну продуктларының составы:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}.$$

Монда азотның $K\text{Моль}$ саны ярлы катнашма ($\alpha > 1$) очрагындагы сыман

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0.$$

Калган продуктларның M_{CO_2} , M_{CO} , M_{H_2O} һәм M_{H_2} $K\text{Моль}$ санын билгеләү өчен тигезләмәләр төзибезд.

M_{CO_2} һәм M_{CO} яну продуктларын барлыкка китерү өчен тотылган углерод

$$M_{CO_2} + M_{CO} = \frac{C}{12}. \quad (1.4)$$

M_{H_2O} һәм M_{H_2} яну продуктларын барлыкка китерү өчен тотылган водород

$$M_{H_2O} + M_{H_2} = \frac{H}{2}. \quad (1.5)$$

M_{CO_2} , M_{CO} һәм M_{H_2O} яну продуктларын барлыкка китерү өчен тотылган кислород

$$M_{CO_2} + \frac{M_{CO}}{2} + \frac{M_{H_2O}}{2} = 0,208 \cdot \alpha \cdot L_o + \frac{0}{32}. \quad (1.6)$$

Монда M_{CO} һәм M_{H_2O} икегә бүленгән, чөнки бу очракта ярты гына K Моль кислород тотыла (баштагы тигезләмәләрне кара). Бу тигезләмәләрне (1.3-1.6) чишкәннән соң түбәндәгеләр килеп чыга:

$$M_{CO} = 0,42 \frac{1-\alpha}{1+\kappa} L_o;$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - M_{CO} = \frac{C}{12} - 0,42 \frac{1-\alpha}{1+\kappa} L_o;$$

$$M_{H_2} = \kappa \cdot M_{CO} = 0,42 \cdot \kappa \cdot \frac{1-\alpha}{1+\kappa} L_o;$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - \kappa \cdot M_{CO} = \frac{H}{2} - 0,42 \cdot \kappa \cdot \frac{1-\alpha}{1+\kappa} L_o.$$

Бу ягулык катнашмасы януының теоретик моделе. Чынбарлыкта исә яну продуктлары составына 200дән артык төрле химик кушылмалар керә, аларның иң зарарлылары – сөрәмле газлар (алар $\alpha > 1$ булганда да барлыкка килә), азот оксидлары (NO_x), янып бетмәгән углеводородлар (C_xH_y), күкерт оксидлары, кургаш оксидлары (этиллы бензиннарның яну продуктлары), бензо(α)пирин.

Янганнан соң чыккан газда яну продуктларының күләмле индивидуаль өлешләре:

$$r_{CO} = \frac{M_{CO}}{M_2}; \quad r_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_2}; \quad r_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{M_2};$$

$$r_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_2}; \quad r_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_2}; \quad r_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M_2};$$

$$r_{CO} + r_{CO_2} + r_{H_2} + r_{H_2O} + r_{N_2} + r_{O_2} = 1.$$

Исәпләгәндә түбәндәге төгәллек рөхсәт ителә:

$$\sum_{i=1}^6 r_i = 1 \pm 0,001.$$

Тулысынча янмауның төп сәбәбе булып жылылык югалту тора, ул химик яктан тулы булмаган яну нәтижәсендә килеп чыга. Мәсәлән, югалтулар: 1 КМоль СО янмаганлыктан $\approx 287 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}$; ә 1 КМоль H_2 янмаганлыктан $\approx 250 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}$, суны парга әйләндерү өчен сарыф ителгән жылылык югалтуларын да исәпкә алганда, $\approx 204 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}$. Димәк, жылылыкның “жыелып бетмәве” түбәндәге зурлыкны тәшкил итә

$$\Delta H_u = 287 \cdot M_{CO} + 204 M_{H_2} \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}, \quad (1.7)$$

$\alpha < 1$ шартында эшләүче двигательләрдә кислород житмәгәнлектән януның химик тулы булмаганлык коэффициенты урын ала

$$\Delta H_u = 119,95(1 - \alpha)L_o \text{ МДж / кг}. \quad (1.8)$$

1.1.12. Ягулыкның жылылык хасил итү мөмкинлегенә

Окислашу химик реакцияләре вакытында түбәндәге жылылыктар чыга:

$$C + O_2 = CO_2 + 408 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль углерод}};$$

$$\text{ә 1 кг углерод өчен} - 34 \frac{\text{МДж}}{\text{кг углерод}};$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O + 252 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль водород}};$$

$$\text{ә 1 кг водород өчен} - 126 \frac{\text{МДж}}{\text{кг водород}}.$$

Ягулыктагы кислородны һәм күкертне исәпкә алмаганда, 1 кг ягулык окисьлашкандагы жылылык

$$H_o = 34 \cdot C + 126H \text{ (МДж/кг)}.$$

Биредә H_o - ягулыкның югары жылылык хасил итү мөмкинлеге. Ул ягулык тулысынча янып беткәндә чыккан жылылык, аңа яну продуктлары суынганда су парларының конденсациясе нәтижәсендә чыккан жылылык та керә.

Әмма двигатель эчендә янган газда су парлары конденсацияләнми, чөнки $t > 100^\circ$ һәм бу фаза күчү энергиясен янган газ алып чыгып китә. Бу фактны исәпкә алып, ягулыкның түбән жылылык хасил итү мөмкинлеге кертелә

$$H_u = H_o - 2,51 \cdot 9H \text{ (МДж/кг)} - \text{чөнки яну продуктла-}$$

6 нчы таблица

Ягулык	бензин	дизель ягулыгы	мета- нол	эта- нол	пропан	бу- тан	водо- род
$H_u,$ $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	44	42,5	19,7	26,8	45,96	45,43	104
$H_u,$ $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$					85,8	111,8	

рында $\frac{H}{2}$ КМоль су (1.1.10.ны кара).

Димәк, $H_u = H_0 - 22,6 H$ (МДж/кг)- ягулыкның түбән жылылык хасил итү мөмкинлеге. Ягулык белән һава катнашмасының жылылык хасил итү мөмкинлеге: 1 кг ягулыкка M_1 КМоль катнашма/кг һәм H_u МДж/кг туры килә

$$H_{\text{катнашма}} = \frac{H_u \cdot \chi}{\alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T}},$$

биредә χ – януның химик тулысынча янып бетмәү коэффициенты, ($\alpha > 1$ очрагында $\chi = 1$)

$$\chi = \frac{H_u - \Delta H_u}{H_u}, \quad \Delta H_u = 287 \cdot M_{CO} + 204 M_{H_2} \frac{\text{МДж}}{\text{Кмоль}}.$$

$\alpha = 1$ булганда ягулык-һава катнашмасының жылылык хасил итү мөмкинлекләре 7 нче таблицада күрсәтелгән.

Ягулык катнашмасы составының (α) жылылык хасил итү мөмкинлегенә йогынтысы 8 нче таблицада күрсәтелгән.

7 нче таблица

ягулык-һава катнашмасы	бензин	метанол	этанол	пропан	бутан	водород
L_0	0,516	0,2254	0,313	0,5463	0,55	1,2
M_1	0,524	0,257	0,3348	0,569	0,5678	1,7
H_u катнашма $\frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}$	83,97	76,65	80	80,8	80	61,2
H_u катнашма $\frac{\text{КДж}}{\text{м}^3}$	3500	3194	3335	3366	3335	2550
H_u катнашма $\frac{H_u \text{ катнашма}}{H_u \text{ бензин}}$	1	0,91	0,95	0,96	0,95	0,73

8 нче таблица

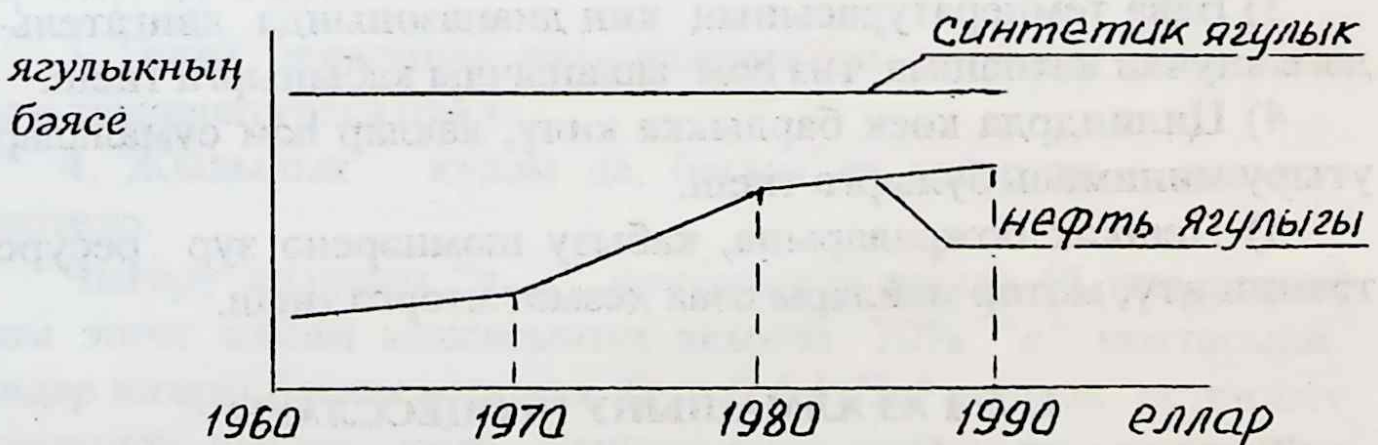
α	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	3,0
H_u $\frac{КДж}{м^3}$	2524	2356	2208	2078	1963	1767	1606	1472	1178

Нәтижэләр:

1. Углеводородлы төрле ягулыкларның жылылык хасил итү мөмкинлегә төрлечә : $46...20 \frac{МДж}{кг \text{ ягулык}}$.
2. Моңа карамастан, углеводородлы төрле ягулыклар өчен жылылык хасил итү мөмкинлекләре бер-берсенә якын.
3. Водородның жылылык хасил итү мөмкинлегә зур булуга карамастан, водород – һава катнашмасының жылылык хасил итү мөмкинлегә бензин – һава катнашмасына караганда 27% ка кимрәк.

1.1.13. Ягулыкларның төп сыйфатлары, ягулыкларга куелган таләпләр

- Иң аз баядан кыйммәте күтәрелү тәртибендә: кысылган газ ягулыгы, дизель ягулыгы, сыекландырылган газ ягулыгы, бензин, синтетик ягулык, метанол, этанол, водород.



3 нче рәсем

- Чимал запасы. Газ запаслары якынча 400 елга, нефть запаслары якынча 50 елга житәрлек. Ташкүмер запаслары (син-

тетик ягулык өчен) 300 – 500 елга житәрлек. Водород запаслары чикләнмәгән күләмдә.

- Чималдан ягулык алу технологиясенең бәясе, аны транспортлау һәм саклау. 1 тонна бензин яисә дизель ягулыгы алу өчен 0,25 тоннага кадәр нефть тотыла. Газ ягулыгын житештерү өчен 20 МПа кадәр кысып китерү житә. Газ торбалар буенча жиңел транспортлана. Сыек ягулыкны сакларга жиңел.

- Двигатель өчен кирәк булган үзлекләр:

1) Иң аз жылылык хасил итү мөмкинлегеннән чыгып ягулыкның кирәкле борт запасы.

Ягулыкның борт запасы 75 литр дизель ягулыгының массасына эквивалент булудан чыга (савыты белән бергә): сыекландырылган газ – 90...92 кг, кысылган газ – 150...500 кг, баллоннарның нинди материалдан эшләнүенә карап (пластмасадан, легирланган корычтан яисә корычтан) аккумуляцияләнган водород – 284 кг, этанол – 100 кг, метанол – 130 кг.

2) Ягулыкның организм өчен зарарлы булмавы, метанол, этанол һәм этиллы бензин бу таләпкә туры килмиләр. Янып чыккан газ минималь зарарлы булсын өчен азот окислары, сөрөмле газ, углеводородлар һәм төтендәге каты кисәкчеләр минималь булырга тиеш. Бу таләпләргә газ ягулыгы һәм спирт тулырак җавап бирә.

3) Һава температурасының киң диапазонында двигательдәге янучан катнашма тиз һәм ышанычлы кабынырга тиеш.

4) Цилиндрда көек барлыкка килү, лаклар һәм сумалалар утыру минималь булырга тиеш.

5) Пешкәк божраларына, кабызу шәмнәренә зур ресурс тәэмин итү; мотор майлары озак хезмәт итәргә тиеш.

1. 2. ГАЗ АЛМАШЫНУ ПРОЦЕССЛАРЫ

Термодинамик (теоретик) циклда түбәндәге фараз итүләр һәм гадиләштерүләр кертелә:

- цикл йомык, беренче һәм аннан соңгы циклларны даими (ягъни алмаштырылмый торган) жисем башкара;

- жисемгә жылылык башта үзгәрмәс күләм булганда кертелә (димәк, пешкәк хәрәкәтләнми), соңыннан - үзгәрмәс басым булганда; жисемнән жылылык үзгәрмәс күләм булганда алына (пешкәк хәрәкәтләнми);

- эшче жисемнең жылысыешлыгы даими кала.

Теоретик цикл — ул реаль циклының иң гадиләштерелгән термодинамик модели. Теоретик цикл аңа йогынты ясаучы факторларны (мәсәлән, тыгызлык, басым, температура) ачыкларга мөмкинлек бирә һәм шулай ук эшче жисем параметрлары арасында элемент урнаштыра (мәсәлән, циклының ф.э.к. һәм эше кебек параметрлары).

ЭЯДдәге реаль эш процесслары теоретик циклдан түбәндәгеләр белән аерыла:

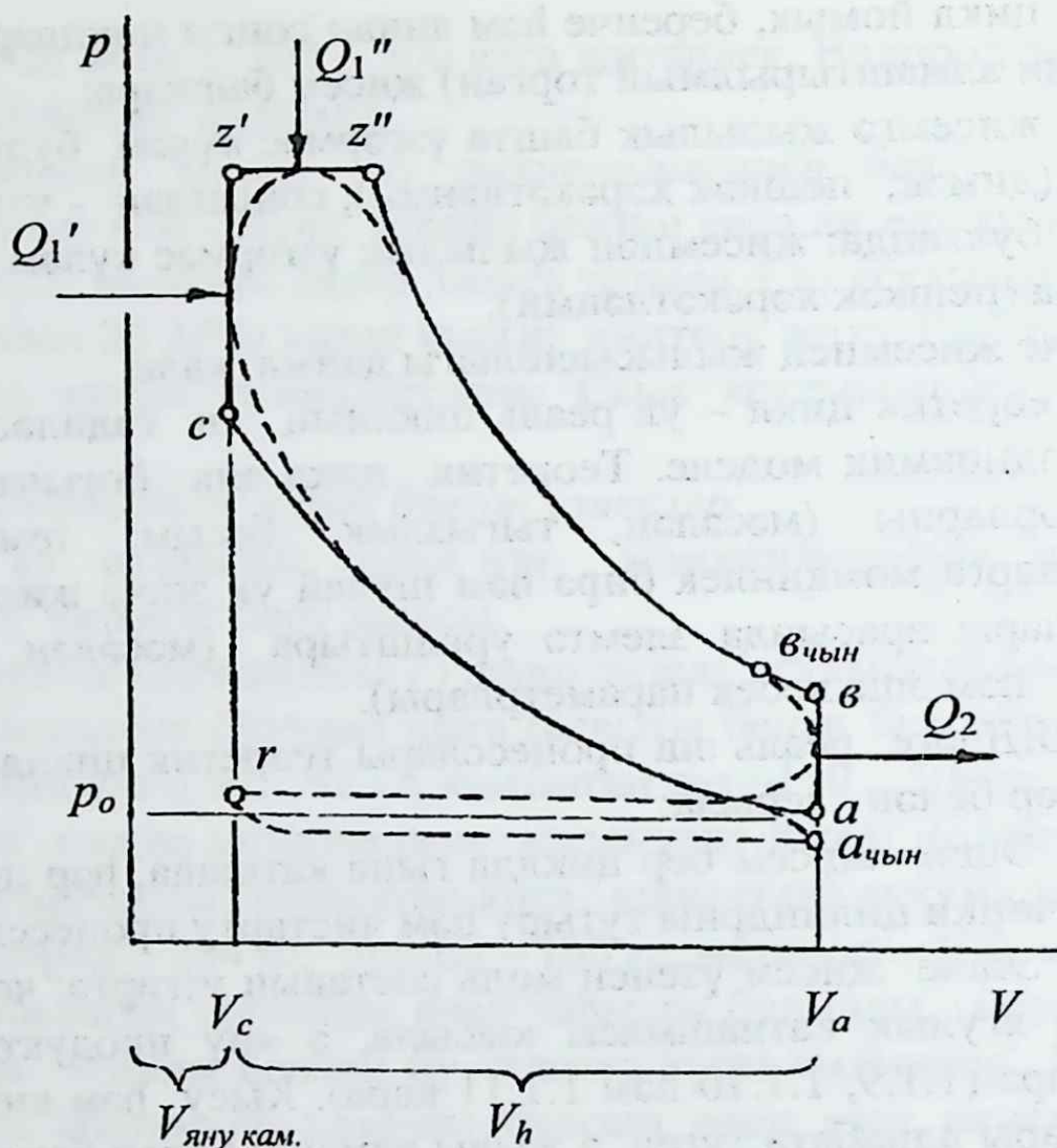
1. Эшче жисем бер циклда гына катнаша, һәр циклда үзгәрә: чөнки цилиндрны тутыру һәм чистарту процесслары бар.

2. Эшче жисем үзенең моль составын үзгәртә: чөнки һава белән ягулык катнашмасы кысыла, ә яну продуктлары эш башкара (1.1.9, 1.1.10 һәм 1.1.11 кара). Кысу һәм киңәю процесслары адиабата түгел, ә жылы алмашу белән баралар, һәм эшче жисемнең бер өлеше аралыклардан чыгып китә. Бу процесс политропа процессы дип атала, һәм бу очракта $n_1 < k_1$, $n_2 < k_2$.

3. Эшче жисемнең жылысыешлыгы мольнең составына һәм температурага бәйле.

4. Жылылык күләм дә, басым да үзгәргән вакытта кертелә.

Чыгару клапаны “*в_{ч_{ын}}*” ноктасында ачыла (4 нче рәсем) һәм эшче жисем массасының якынча 70% “*в*” ноктасына кадәр югары басым астында ($p_v > 0,4 \text{ МПа}$) пешкәк өстендәге күләмнән чыгып китә. Пешкәк өске тукталыш ноктасына (ӨТН) хәрәкәт итә башлагач басым $p_r = p_0 + \Delta p_2$ була (двигательләр сынау статистикасыннан билгеле $p_r = (1,18 \dots 1,21) p_0$).



4 нче рәсем

ӨТНга хәрәкәт итүче пешкәк ярдәмендә янган газларны цилиндрдан этеп чыгару процессы башлана. Билгеле, цилиндрда, пешкәк өстендә дулкынсыман процесслар бара. Ләкин житәрлек дәрәжәдәге төгәллек белән басым даими кала һәм p_r -га тигез була.

Пешкәк үз хәрәкәте белән янган газларны цилиндрның эшче күләменнән этеп чыгара

$$V_h = V_a - V_c,$$

биредә V_h — цилиндрның эшче күләме, V_a — цилиндрның тулы күләме, V_c — яну камерасы күләме.

Әмма яну камерасы күләмендә берникадәр калдык газлар кала (M_r моль)

$$p_r V_c = M_r R T_r, \quad (1.9)$$

биредә R – газның даими күрсәткече

Статистикадан чыгып T_r кабул ителә.

9 нчы таблица

Двигательләр	T_r, K	p_r
дизель	850 ± 50	$(1,18 \dots 1,2) p_0$
газ двигателе	900 ± 100	
бензин двигателе	950 ± 50	

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}; \quad (1.10)$$

монда ε - кысу дәрәжәсе

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}. \quad (1.11)$$

$$M_r = \frac{p_r V_h}{R(\varepsilon - 1)T_r}, \quad (1.12)$$

биредә, M_r - чыгару такты азагында цилиндрда калган янган газлар микъдары. Пешкәк өске тукталыш ноктасыннан (ӨТН) аскы тукталыш ноктасына (АТН) хәрәкәт иткәндә аның күләме V_a ($V_a = V_h + V_c$) арта, кертү клапаны аша саф катнашма керә һәм ул калдык газлар белән бергә бутала. Гадиләштерү кертәләр: саф катнашма V_h күләмен тутыра, ә калдык газлар -

V_c . Саф катнашманың иң зур микъдары: $M_o = \frac{p_o V_h}{RT_o}$ - бу

очракта цилиндр стенкалары аша жылылык алмашыну юк һәм гидравлик югалтулар да юк дип фараз итәбез. Ә чынбарлыкта исә, саф катнашма бөтен күләменә керә, янган газлар белән катнаша һәм шулай итеп эшче катнашма барлыкка килә. Чынбарлыкта саф катнашма головкадан, пешкәк төбеннән, цилиндр кырларыннан һәм янган кайнар газлар белән

кушылган вакытта да жылына. Өстәвенә, цилиндрга кертү вакытында булган гидравлик югалтулар нәтижәсендә басым түбәнәя. Чынбарлыкта цилиндрда кертү такты азагында мольләр микъдары түбәндәгечә була:

$$M_1 + M_r = \frac{p_a V_a}{RT_a}, \quad (1.13)$$

биредә p_a - кертү ахырында басым $p_a = p_o - \Delta p_1$,

гидравликадан билгеле $\Delta p_1 = (\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) \frac{W^2}{2} \rho_o$;

$(\beta^2 + \xi_{\text{кертү}})$ комплексы – ул кертү каналларындагы гидравлик югалтуларны күрсәтә: канал кырларына ышкылу, агым барышындагы югалтулар, шулай ук пешкәк өстендәге күләмдә агым тизлегә туктатылган вакыттагы югалтулар.

Номиналь режимда клапандагы тизлекне W түбәндәгечә кабул итәләр:

- жиңел автомобиль өчен 4 тактлы бензин двигателендә - $W = 90 \dots 100 \text{ м/с}$;

- йөк автомобиле өчен 4 тактлы бензин двигателендә - $W = 80 \dots 90 \text{ м/с}$;

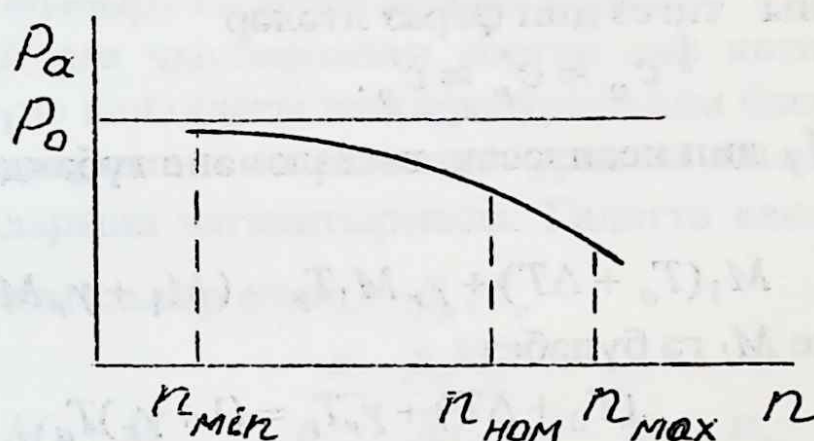
- йөк автомобиле өчен 4 тактлы дизель двигателендә - $W = 60 \dots 70 \text{ м/с}$.

Двигательнең әйләнү ешлыгы кимегәндә клапандагы агым тизлегә дә кими $W = W_{\text{ном}} \cdot \frac{n}{n_{\text{ном}}}$.

$$\text{Тыгызлык } \rho_o = \frac{p_o}{R \cdot T_o},$$

биредә p_o - кертү клапаны алдындагы басым, гадәттә, бу атмосфера басымы: $p_o = 0,1013 \text{ МПа}$; әгәр дә өрдертүле двигатель булса, бу компрессордан чыккан газ басымы; T_o – кертү клапан алдындагы һава (яисә катнашма) температурасы, K ; гадәттә $T_o = 293 \text{ K}$, өрдерүле двигательдә компрессордан чыккан газ температурасы.

Статистика мәғлүматлары буенча өрдерүсез ЭЯДдә $p_a = (0,8 \dots 0,9)p_0$ – бу номиналь режимда һәм тулысынча ачылган дроссель өчен. Әйләнү ешлығының кимүе белән p_a күтәрелә, һәм ул атмосфера басымына яқынлаша.



5 нче рәсем

Двигательнең эш күләмендә (V_h) саф катнашманың мольләр санын билгелибез

$$M_1 = \frac{p_a V_h}{R(T_o + \Delta T)}, \quad (1.14)$$

биредә ΔT – саф катнашманың цилиндр стенкасынан жылынуы. Ә калдык газларның мольләр саны

$$M_r = \frac{p_r V_c}{RT_r}. \quad (1.15)$$

Цилиндрны яну продуктарыннан чистарту сыйфатын күрсәтүче калдык газлар коэффициенты

$$\gamma_r = \frac{M_r}{M_1} = \frac{p_r \frac{V_h}{\varepsilon - 1} / RT_r}{p_a V_h / R(T_o + \Delta T)} = \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{p_a}. \quad (1.16)$$

Әдәбиятта калдык газлар коэффициентының бүтән төрле формуласын да очратырға мөмкин

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_o - p_r}. \quad (1.17)$$

Жылылык балансы тигезләмәсеннән килеп чыга

$$c_p M_l (T_o + \Delta T) + c_p'' \cdot M_r T_r = c_p' (M_l + M_r) T_a,$$

биредә c_p -үзгәрмәс басым булганда мольле жылысыйдырышлык. Төгәлрәк алганда

$$c_p \neq c_p'' \neq c_p'.$$

Әмма аларны тигез дип фараз итәләр

$$c_p \approx c_p'' \approx c_p'.$$

$M_r = \gamma_r M_l$ дип исәпләсәк, тигезләмәне түбәндәгечә язарга мөмкин

$$M_l (T_o + \Delta T) + \gamma_r M_l T_r = (M_l + \gamma_r M_l) T_a.$$

Тигезләмәне M_l гә бүләбез

$$(T_o + \Delta T) + \gamma_r T_r = (1 + \gamma_r) T_a.$$

Кертү ахырында эшче катнашманың температурасы

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}. \quad (1.18)$$

Шулай итеп, эшче жисемнең кертү процессы ахырындагы параметрлары:

$$p_a = p_o - (\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) \frac{W^2}{2} \rho_o;$$

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r};$$

$$V_a = \varepsilon \cdot V_c; \quad V_h = (\varepsilon - 1) V_c; \quad V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} V_h.$$

Нормаль шартларда эшче күләмендә саф катнашма урнашыр дип уйлыйбыз

$$M_o = \frac{p_o V_h}{RT_o} \text{ КМоль},$$

ә икенче яктан, тулы күләмдә эшче катнашма урнаша

$$M_l + M_r = (1 + \gamma_r) M_l;$$

$$(1 + \gamma_r)M_1 = M_1 + M_r = \frac{p_a V_a}{RT_a} = \frac{p_a \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} V_h}{RT_a} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{p_a V_h}{RT_a}.$$

Газ алмашу процессының тагын бер сыйфатлы характеристикасы – *тутыру коэффициенті* кертелә.

Ул цилиндрга чынбарлықта кертгән саф катнашма микъдарның кертүче каналдагы температурага һәм басымга ия булган һәм цилиндрның эш күләмендә урнаша алырлык катнашманың микъдарына чагыштырмасы. Гадәттә каналда - p_0, T_0 , өрдөрүле двигателъләр өчен - p_k, T_k

$$\eta_v = \frac{M_1}{M_0} = \frac{M_1 + M_r}{(1 + \gamma_r)M_0} = \frac{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{p_a V_h}{RT_a}}{\frac{p_0 V_h}{RT_0} (1 + \gamma_r)} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_a (1 + \gamma_r)}.$$

Шулай итеп, газлар алмашыну процессының сыйфатын билгеләүче ике коэффициент бар: η_v һәм γ_r ,

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_a (1 + \gamma_r)}; \quad \gamma_r = \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{p_a}; \quad (1.19)$$

Молекуляр үзгәрүенң чын коэффициенты дигән төшенчә кертелә - μ_0 . Алдарак молекуляр үзгәрүләрнең химик коэффици-

циенты $\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}$ билгеле иде, яну процессы ахырында эшче

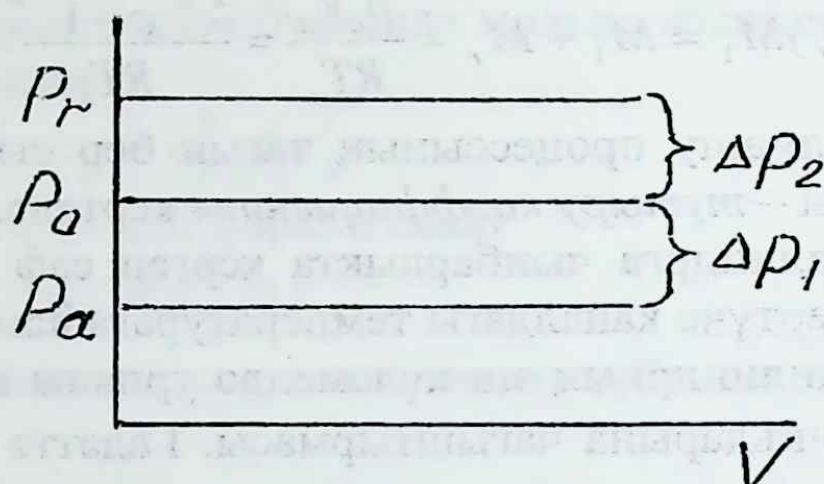
жисемнең калдык газлар белән мольләр санын исәпләп була: $(M_2 + \gamma_r M_1)$, ә кысу процессы башында эшче катнаманың мольләр саны: $M_1 \cdot (1 + \gamma_r)$. Шулай итеп

$$\mu_0 = \frac{M_2 + \gamma_r M_1}{M_1 (1 + \gamma_r)} = \frac{\mu_0 \cdot M_1 + \gamma_r \cdot M_1}{M_1 (1 + \gamma_r)} = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

Насос йөрешләре югалтуларының уртача басымы (6 нче рәс.)

$$\Delta p_1 + \Delta p_2$$

Атмосфера басымына карата этеп чыгару эше - $\Delta p_2 \cdot V_h$



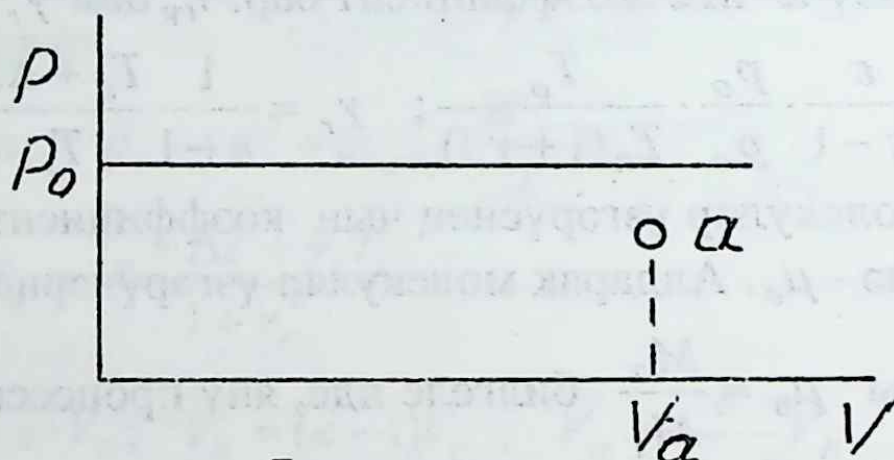
6 нчы рәсем

һәм суурту эше - $\Delta p_1 \cdot V_h$:

$$\Delta p_2 = p_r - p_0; \quad \Delta p_1 = p_0 - p_a.$$

$$L_{нас} = p_r V_h - p_0 V_h + p_0 V_h - p_a V_h = (p_r - p_a) V_h$$

Шулай итеп, p - V диаграммасында “а” ноктасы билгеләнә, бу ноктада кертү процессы тәмамлана һәм кысу башлана.



7 нче рәсем

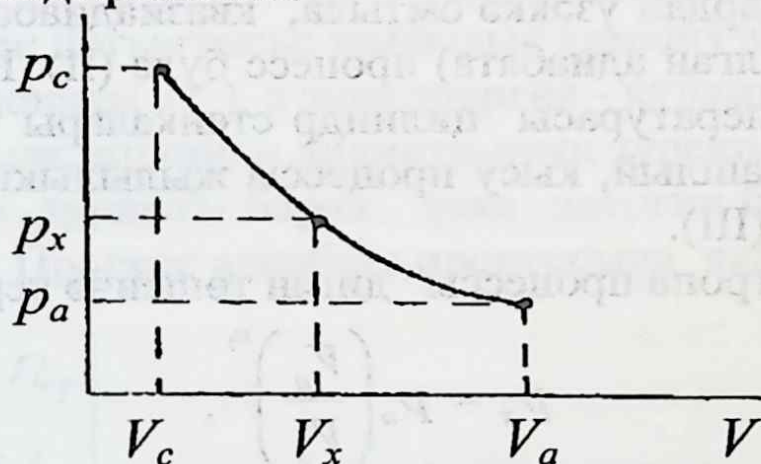
1.3. КЫСУ ПРОЦЕССЫ

Теоретик циклда кысу процессы адиабат белән модель-

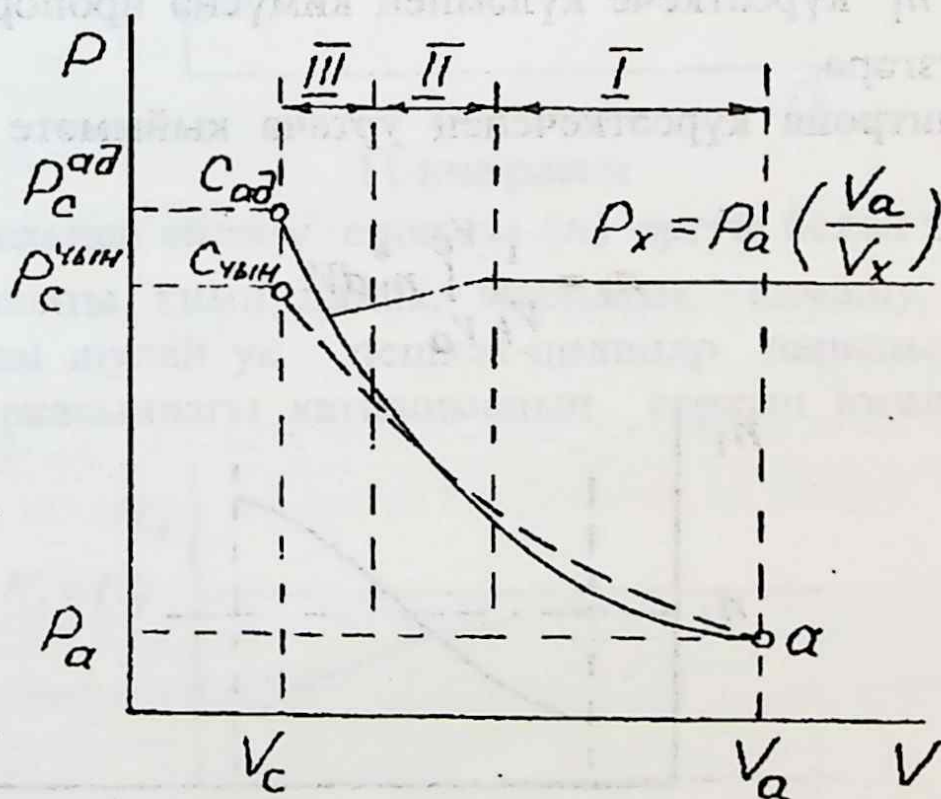
ләнә $p_x = p_a \left(\frac{V_a}{V_x} \right)^{k_1}$ (8 нче рәсем), бу процессның ахыр һәм баш параметрлары арасында түбәндәге бәйләнеш урнаша:

$$p_c = p_a \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{\kappa_1} = p_a \varepsilon^{\kappa_1}, \quad (1.20)$$

биредә $\kappa_1 = c_p / c_v$ - адиабата күрсәткече (1-ле коэффициентны кысу процессы икәнлеген аңлата); c_v - үзгәрмәс күләм булганда мольле жылысыйдырышлык, c_p - үзгәрмәс басым булганда мольле жылысыйдырышлык.



8 нче рәсем



9 нче рәсем

Реаль очракта кысу процессы жылылык алмашу һәм катнашманың өлөшчә югалтулары белән беррәттән бара. 9 нчы рәсемнән күренгәнчә, башта реаль процессның басымы адиабата процессына карата беркадәр күтәренке була. Чөнки цилиндр стенкасы, головкиның һәм пешкәк төбө температуралары катнашма температурасыннан артык һәм процесс жылы китерү белән алып барыла (I). Соңыннан жылылык агымы стенкалардан үзәккә омтыла, квазиадиабат (ягъни адиабата төсле - ялган адиабата) процесс була (II). Ниһаять, катнашманың температурасы цилиндр стенкалары температурасынан арта башлый, кысу процессы жылылыкны читкә жибәрү белән бара (III).

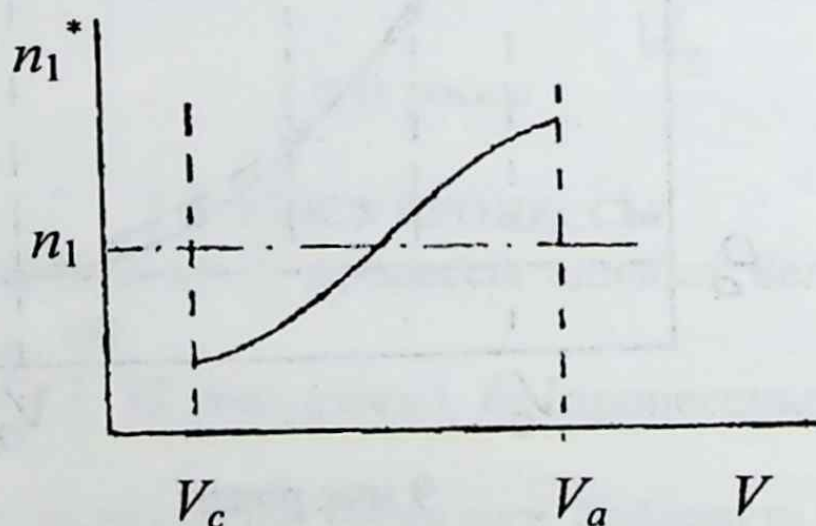
“Политропа процессы” дигән төшенчә кертик:

$$P_x = P_o \left(\frac{V_a}{V_x} \right)^{n_1},$$

димәк, адиабата моделе берникадәр киңәя. 10 рәсемдә күренгәнчә, n_1^* күрсәткече күләмнең кимүенә пропорциональ рәвештә үзгәрә.

Политропа күрсәткеченең уртача кыйммәте төшенчәсен кертик

$$n_1 = \frac{1}{V_h V_a} \int_{V_c}^{V_a} n_1^* dV. \quad (1.21)$$

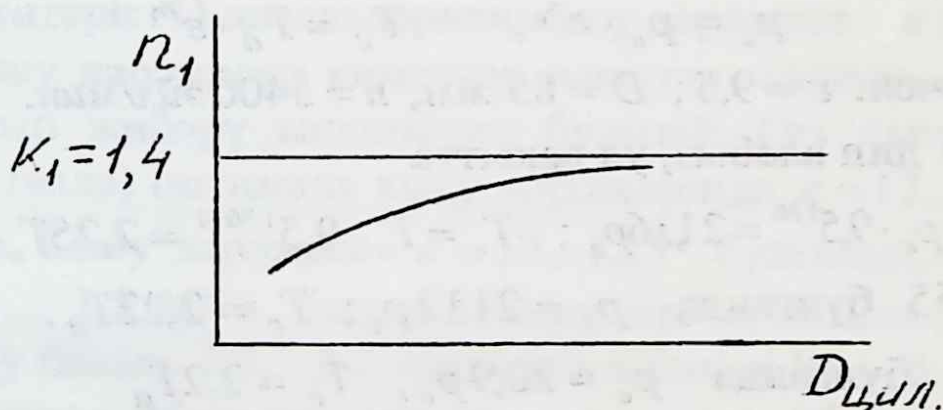


10 нчы рәсем

Политропа күрсәткеченә (n_1) цилиндрның үлчәмнәре, пешкәкнең йөрү тизлегә, цилиндр головкиның һәм пешкәкнең материаллары йогынты ясый.

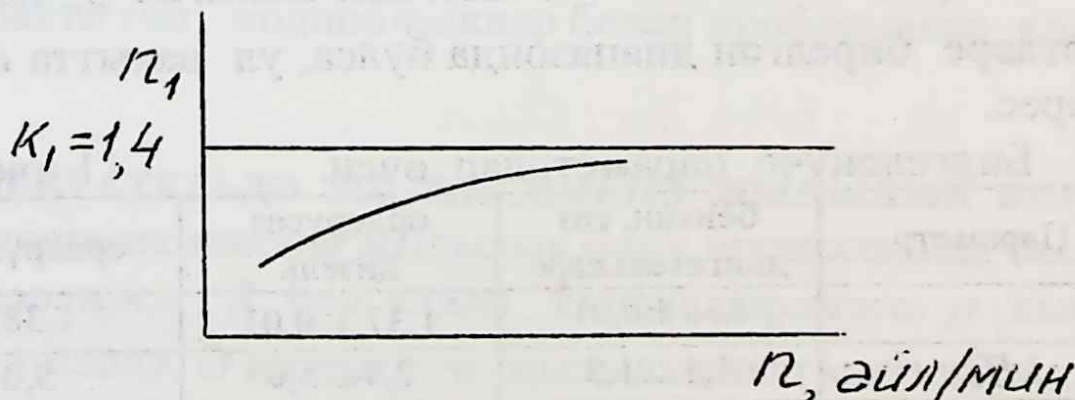
Алюминий эретмәсе белән чагыштырганда чуеннан ясалган головка һәм пешкәк төбә бик югары температурага ия була. Сыеклык белән суытуга караганда һава белән суытылучы двигательләрнең стенка температурасы да югарырак. Шуңа күрә аларның n_1 күрсәткече дә югарырак була.

Үлчәмнәрнең йогынтысы: жылылык алмашу зурлыгы мәйданга пропорциональ (D^2), ә эчке энергия - күләмгә пропорциональ (D^3), димәк, цилиндр диаметрының зураюы белән жылылык алмашу зурлыгы барча эчке энергия белән чагыштырганда кими. Процесс адиабата процессына якынлаша.



11 нче рәсем

Двигательнең әйләнү ешлыгы (n) артуы белән бер тактның үтү вакыты кими; димәк, жылылык алмашу зурлыгы да кими һәм шулай ук пешкәк-цилиндр парының тыгыз булмавы аркасындагы катнашманың саркып югалтулар да кимиячәк.



12 нче рәсем

n_1 кыйммәтен исәпләү өчен төгәл, әмма шул ук вакытта катлаулы ысуллар бар. Исәпләмәләрдә 10 нчы таблицада кыйммәтләр алына.

10 нчы таблица

Двигатель	n_1
газ, бензин двигательләре	1,35...1,37
өрдөрүсез дизель	1,37...1,39

Двигательнең тиз йөрешлеген һәм үлчәмнәрен күздә тотып, n_1 күрсәткеченең кыйммәтен җитәрлек дәрәжәдә төгәл итеп билгеләргә мөмкин.

Шулай итеп, кысу процессы ахырында эшче җисемнен параметрлары түбәндәгечә булачак:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1}; \quad T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1}$$

Мисал өчен: $\varepsilon = 9,5$; $D = 85$ мм; $n = 5400$ әйл/мин.

$n_1 = 1,36$ дип алабыз, ул вакытта

$$p_c = p_a \cdot 9,5^{1,36} = 21,36 p_a; \quad T_c = T_a \cdot 9,5^{1,36-1} = 2,25 T_a.$$

$$n_1 = 1,355 \text{ булганда } p_c = 21,12 p_a; \quad T_c = 2,22 T_a.$$

$$n_1 = 1,35 \text{ булганда } p_c = 20,9 p_a; \quad T_c = 2,2 T_a$$

$$\text{Басым буенча хата } \frac{21,36 - 20,9}{21,36} \cdot 100\% = 2,15\%.$$

Хатаның мондый зурлыгы (3% тан кимрәк) бу исәпләмәдә рөхсәт ителә.

Әгәр дә исәпләнгән вакытында алынган p_c һәм T_c кыйммәтләре бирелгән диапазонда булса, ул вакытта исәпләмәләр дөрес.

Билгеләнүче параметрлар өчен

11 нче таблица

Параметр	бензин, газ двигательләре	өрдөрүсез дизель	өрдөрүле дизель
n_1	$1,36 \pm 0,01$	$1,37 \pm 0,01$	1,38...1,39
$p_c, \text{ МПа}$	1,1...1,3	2,9...5,0	5,0...6,5
$T_c, \text{ К}$	600...700	800...900	900...1000.

Кертү процессында катнашма цилиндрның күчәре буйлап түгел, ә аның кырыннан керә, бу исә катнашманың цилиндр күчәре тирәсендә әйләнүенә китерә. Кысу вакытында әйләнү саклана, тизлек тангенциаль төзүчесен дә тәшкил итә. Зарядның әйләнү тизлегә дизельдә, газ һәм бензин двигательләрендә янучан катнашманы хәзерләү өчен бик әһәмиятле.

Термодинамика күзлегеннән чыгып караганда оптималь кысу дәрәжәсе $\varepsilon = 12 \dots 12,5$ булырга тиеш. Әмма бензинда эшләүче двигательләрнең кысу дәрәжәләре кимрәк алына $\varepsilon \leq 10$, чөнки кысу дәрәжәсен оптималь санга күтәрү бензинның октан санын 115...120 берәмлеккә кадәр күтәрүгә китерәчәк һәм шулай ук төтен составында азот окисьларының артуына китерә. Ә дизельләрнең кысу дәрәжәсе - $\varepsilon > 13,5$. Дизельдә кысу дәрәжәсен киметкән вакытта салкын двигательне кабызып жибәрү ышанычлы булмый. Газ двигательләре (табигый газда) оптималь кысу дәрәжәсендә $\varepsilon = 12 \dots 12,5$ эшли алалар. Кысу дәрәжәсе $\varepsilon = 12 \dots 12,5$ булганда, кысу процессы 2,4... 2,5 МПа басым тәэмин ителә, катнашма янганнан соң бу басым 3,5...3,7 тапкырга артачак һәм 8,5...9 МПа тәшкил итәчәк. Мәсәлән, цилиндр диаметры 85 мм булганда, пешкәкнең мәйданы $\approx 57 \text{ см}^2 = 57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Димәк, пешкәккә тәэсир итүче көч

$$P_n = 9 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 51300 \text{ Н} \text{ яисә } 5,13 \text{ тонна.}$$

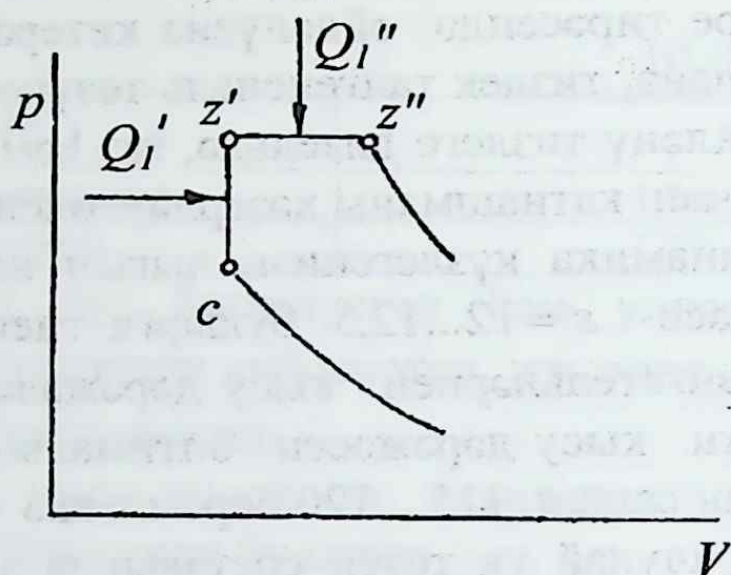
Бу очракта төп подшипниклар белән проблемалар килеп чыгачак.

1.4. ДВИГАТЕЛЬДӘ ЭШ ЖИСЕМЕНӘ ЖЫЛЫЛЫК БИРҮ

Термодинамик циклда жылылык бирү процессында басым күтәрелү дәрәжәсе λ һәм алдан киңәю дәрәжәсе ρ кыйммәтләре билгеләнә. Ә китерелүче жылылыкның миқдары түбәндәгечә исәпләнә:

- үзгәрмәс күләм өчен ($V = \text{const}$)

$$Q'_l = c_v(T_{z'} - T_c) = (\lambda - 1) \cdot c_v T_c, \quad (1.22)$$



13 нче рәсем

биредә:

T_c - кысу процессы ахырындагы температура;

$T_{z'} = \lambda \cdot T_c$ - жылылыкны тапшыру процессы ахырындагы температура;

c_v - үзгәрмәс күләм булганда мольле жылысыйдырышлык;
- үзгәрмәс басым өчен ($p = \text{const}$)

$$Q'_l = c_p(T_{z''} - T_{z'}) = (\rho - 1)c_p \cdot T_{z'} = \lambda(\rho - 1)c_p \cdot T_c, \quad (1.23)$$

биредә:

$T_{z''} = \rho \cdot T_{z'}$ - жылылыкны тапшыру процессы ахырындагы температура;

c_p - үзгәрмәс басым булганда мольле жылысыйдырышлык;

$$c_p = c_v + R; \quad R = 8314 \text{ Дж/КМоль} \cdot \text{град};$$

$$R_{\text{нава}} = \frac{R}{\mu_{\text{нава}}} = \frac{8314 \text{ Дж/КМоль} \cdot \text{град}}{28,96 \text{ кг/КМоль}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} - \text{нава}$$

өчен газның даими күрсәткече.

1.4.1. Бензин (газ) двигательләрендә эшче жисемгә жылылык бирү

Бу очракта эшче катнашма тышкы чыганактан— ачык ялкынның очкыны яисә факелы белән (форкамералы ЭЯД-дә)

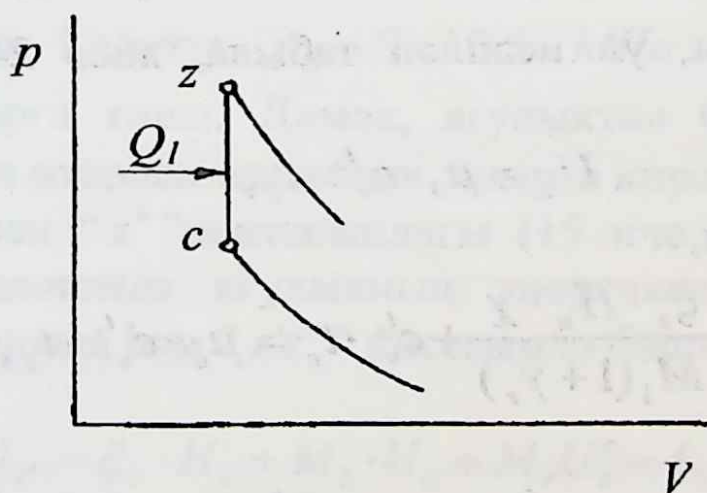
кабызып жибэрелэ һәм ул өске тукталыш ноктасында (ӨТН) терсәкле валның 20^0 борылыш почмагының чикләрендә (10^0 ӨТНга кадәр, ӨТНдан соң 10^0) яна. Терсәкле вал ӨТН тирәсендә 20^0 ка борылган вакытта пешкәкнең йөреше 1% тан кимрәк. Шуңа күрә күләмнең бу үзгәрүенә $\Delta V = F \cdot \Delta S$ игътибар итмәскә дә була һәм жылылык $V = const$ шартында тапшырыла дип санарга мөмкин. Бензин (газ) двигателләренең реаль циклында басымның күтәрелү дәрәжәсе $\lambda = \frac{p_z}{p_c}$ формуласы буенча исәпләнә. Бу очракта эшче жисемнең яну процессында мольләр саны үзгәрүе μ_0 коэффициенты белән исәпләнә

$$p_z = \mu_0 \cdot p_c \frac{T_z}{T_c} \quad (1.24)$$

Жылылык балансы тигезләмәсе

$$Q_1 + U_c = U_z,$$

биредә Q_1 – яну процессында бүленеп чыккан жылылык;



14 нче рәсем

U_c – кысу процессы ахырында эшче жисемнең эчке энергиясе;

U_z – яну ахырында эшче жисемнең эчке энергиясе.

Яну жылылыгы

$$Q_1 = \frac{\xi_z \cdot H_u \cdot \chi}{M_1(1 + \gamma_r)} \cdot \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}, \quad (1.25)$$

монда $\xi_z = 0,85 \dots 0,87$ - жылылыкны куллану коэффициенты;

$$\chi = \frac{H_u - \Delta H_u}{H_u}.$$

Кысу процессы ахырында эшче жисемнен эчке энергиясе

$$U_c = c_v^{t_c} \cdot (T_c - 273) = c_v^{t_c} \cdot t_c \cdot \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}. \quad (1.26)$$

Кысу процессы ахырында эшче жисемнен мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{t_c} = \frac{c_{v \text{ hava}}^{t_c} + \gamma_r \cdot c_{v \text{ к.з.}}^{t_c}}{1 + \gamma_r}. \quad (1.27)$$

Температура $t_c = 500 \dots 700^\circ \text{C}$ булганда наваның мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_{v \text{ hava}}^{t_c} = 20,6 + 2,638 \cdot t_c \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{Кмоль} \cdot \text{град}}.$$

$c_{v \text{ к.з.}}^{t_c}$ - кысу ахырында калдык газларның мольле жылысыйдырышлыгы, ул исәпләп табыла, яисә 24 нче таблицада алына.

$$U_z = \mu_o \cdot c_v^{t_z} \cdot t_z,$$

шулай итеп,

$$\frac{\xi_z \cdot H_u \cdot \chi}{M_1(1 + \gamma_r)} + c_v^{t_c} \cdot t_c = \mu_o \cdot c_v^{t_z} \cdot t_z,$$

биредә

$$c_v^{t_z} = c_{v \text{ CO}_2}^{t_z} \cdot r_{\text{CO}_2} + c_{v \text{ CO}}^{t_z} \cdot r_{\text{CO}} + c_{v \text{ H}_2\text{O}}^{t_z} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} + c_{v \text{ N}_2}^{t_z} \cdot r_{\text{N}_2} + c_{v \text{ O}_2}^{t_z} \cdot r_{\text{O}_2},$$

водородның кеременә игътибар итмәскә мөмкин. Тигезләмәне t_z ка карата чишеп, яну процессы ахырындагы температураны табалар

$$T_z = t_z + 273,$$

яну процессы ахырындагы басым

$$p_z = \mu_o \cdot p_c \cdot \frac{T_z}{T_c}; \quad \lambda = \frac{p_z}{p_c}.$$

1.4.2. Дизельдә эшче жисемгә жылылык бирү

Башта күләме, ә соңыннан басымы даими булганлыктан, дизельдә эшче жисемгә жылылык бирү циклын исәпләгәндә төрле жылысыйдырышлыкларны (c_v һәм c_p) исәпкә алырга кирәк. Икенчедән, кысу дәрәжәсе югары булганлыктан, басым күтәрелү дәрәжәсенен артык югары булуына юл куярга ярамый. Әгәр дә кысу процессы ахырында басым $p_c = 0,09 \cdot 17^{1,36} = 4,24 \text{ МПа}$ булса, басым күтәрелү дәрәжәсе $\lambda = 3$ булганда, януның басымы $12,7 \text{ МПа}$ га күтәрелә. Ул вакытта КамАЗ двигателе үлчәмендәге пешкәккә түбәндәге

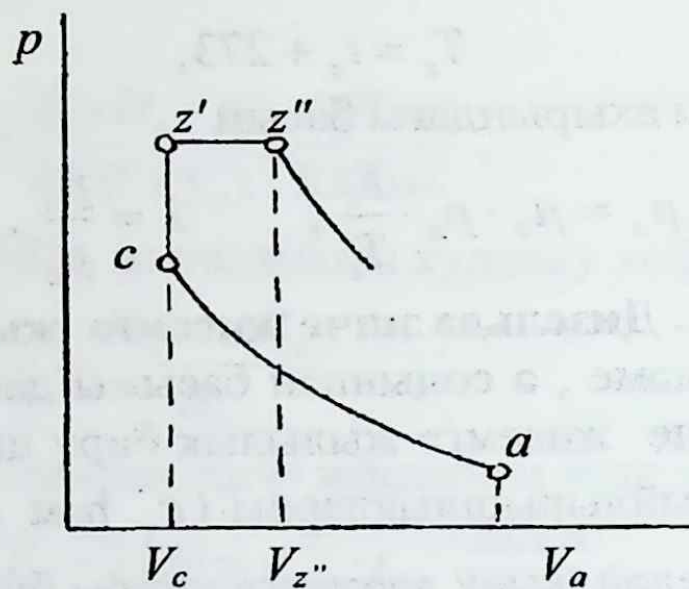
көч тәэсир итәчәк: $P_n = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_z = 140830 \text{ Н}$, ягъни 14 тон-

надан артык. Бу көч тулысынча подшипникларга тапшырыла. Моңа мөмкинлек бирергә ярамый. Шуңа күрә циклын исәпләгәндә p_z зурлыгын подшипникларның чыдамлыгына карап билгелиләр. Гадәттә $p_z = 9 \dots 10,5 \text{ МПа}$, бу очракта $\lambda = 1,9 \dots 2,2$ булырга тиеш. Димәк, ягулыктан бирелгән λ кыйммәтен тәмин итәрлек жылылык алырга кирәк.

Эшче жисемнең “z” ноктасындагы (15 нче рәсем) эчке энергиясен билгеләгәндә ягулыкның энергиясе ноктадагы эчке энергиягә кушыла һәм “z'z'” кисемендә башкарылган эш чигерелә

$$(M_2 + M_r)U_{z'} = \xi_z \cdot H_u + M_1 \cdot U_c + M_r U_c'' - l_{z'z'}, \quad (1.28)$$

$$\text{биредә } l_{z'z'} = R \left[(M_2 + M_r)T_{z'} - \frac{(M_1 + M_r)T_z}{\lambda} \right]. \quad (1.29)$$



15 нче рәсем

(1.28) һәм (1.29) исәпләмәләрен $(M_1 + M_r)$ гә бүләбез

$$\mu_\partial \cdot U_{z''} = \frac{\xi_z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r U_c''}{1 + \gamma_r} - R\mu_\partial T_{z''} + \lambda RT_c,$$

$$\mu_\partial \cdot (U_{z''} + RT_{z''}) = \frac{\xi_z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r U_c''}{1 + \gamma_r} + \lambda RT_c, \quad (1.30)$$

$$\mu_\partial \cdot [c_{v,z''} \cdot T_{z''} + RT_{z''}] = \frac{\xi_z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r U_c''}{1 + \gamma_r} + \lambda RT_c$$

Бу тигезләмәләрне чишү алымнары курс проекты буенча методик күрсәтмәләрдә китерелгән. Тигезләмәләрне чишеп $T_{z''}$ табабыз. Алдан киңәюнең дәрәжәсе

$$\rho = \frac{\mu_\partial}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}.$$

Шулай итеп, яну процессы ахырында эшче жисемнен параметрлары:

- p_z - бирелгән;
- $T_{z''}$ - исәпләнгән;
- ρ - алдан киңәю дәрәжәсе, исәпләнгән;
- $\delta = \varepsilon/\rho$ - соңыннан киңәю дәрәжәсе, исәпләнгән.

Белешмә:

Яну азагындагы газлар составында индивидуаль газлар-
ның мольле жылысыйдырышлыгын исәпләү өчен формулалар
(температура интервалы 1501 дән 2300⁰ C кадәр булганда):

$$CO_2: \quad c_v^{t_z} = 39,123 + 0,003349 \cdot t_z;$$

$$CO: \quad c_v^{t_z} = 22,49 + 0,00143 \cdot t_z;$$

$$H_2O: \quad c_v^{t_z} = 26,67 + 0,004438 \cdot t_z;$$

$$H_2: \quad c_v^{t_z} = 19,678 + 0,001758 \cdot t_z;$$

$$N_2: \quad c_v^{t_z} = 21,951 + 0,001457 \cdot t_z.$$

Температура $t_z = 1501 \dots 2300^0 C$ булганда һаваның мольле
жылысыйдырышлыгы

$$c_{v_{\text{Һава}}}^{t_z} = 22,387 + 0,001449 \cdot t_z \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кДж}}{\text{Кмоль} \cdot \text{град}}.$$

Стехиометрик катнашма ($\alpha = 1$) яну продуктларының мольле
жылысыйдырышлыгы

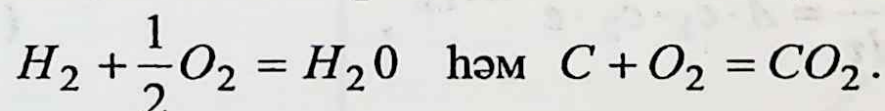
$$c_{v_{\text{прод}}(\alpha=1)}^{t_z} = 25,1225 + 0,001955 \cdot t_z \cdot 10^{-3} \frac{\text{кДж}}{\text{Кмоль} \cdot \text{град}}.$$

Яну продуктларының мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{t_z} = r_{\text{прод}(\alpha=1)} \cdot c_{v_{\text{прод}(\alpha=1)}}^{t_z} + r_{\text{Һава}} \cdot c_{v_{\text{Һава}}}^{t_z}.$$

1.4.3. Яну теориясеннән кайбер мәгълүматлар

Яну - ул жылылык чыгаручы окислашу химик реакция-
ләрнең интенсив процессы. Окислашунунң төп реакцияләре:



Болар – химик модельләр. Ә чынбарлыкта исә реакция
процесслары болай бармый.



Димәк, реакцияләр бер-бер артлы баралар.

Икенчедән, реакциянең башланып китүе өчен актив үзәк-нең ирекле атомы барлыкка килү кирәк. Мәсәлән, водород һәм кислород катнашмасы йөзләрчә еллар дәвамында тигезләнеш хәлендә торырга мөмкин, әмма бу катнашмага көчле яктылык белән тәэсир иткәндә шартлау барлыкка килә. Димәк, молекулалар үзләренә үзләре нейтраль. Актив үзәк барлыкка килсә өчен молекулаларны өзгәләргә кирәк – димәк, моның өчен күпмедер дәрәжәдә энергия сарыф ителә. Молекулаларны җимерү өчен сарыф ителгән энергияне активация энергиясе дип атыйлар.

12 нче таблица

Химик бәйләнеш	$H-H$	$C-H$	$C-C$	$C=C$	$C \equiv C$
Активация энергиясе $E_{акт.}, \frac{МДж}{Кмоль}$	431,6	360,3	251,4	421,1	525,8

Өченчедән, реакцияләр кире элекке хәленә дә кайтырга сәләтле: $O\dot{H} + \dot{H} \Leftrightarrow H_2O$.

Дүртенчедән – реакцияләр ниндидер тизлек белән баралар – (х.р.) үлчәнеше *моль/сек* (моны механик тизлек белән бутамаска – *м/с*).

Химик реакциянең тизлегә, реакциягә керүче матдәләр концентрациясе һәм реакция вакытында температура арасындагы бәйләнешне Арреница урнаштырган

$$W_{х.р.} = -\frac{dc}{d\tau} = A \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot e^{\frac{E_{акт.}}{R \cdot T_{х.р.}}}, \quad (1.31)$$

монда

$-\frac{dc}{d\tau}$ — алынган матдәләрнең берсенең концентрациясенә

вакыт буенча үзгәрүе (кимүе);

- c_1 һәм c_2 - матдэләрнең баштагы концентрацияләре;
- A - бирелгән конкрет очрак өчен даими зурлык;
- $E_{акт}$ - активация энергиясе, $\frac{кДж}{моль}$, (чөнки концентрациянең үлчәнеше $моль/м^3$ була);
- R – газ өчен даими күрсәткеч;
- $T_{х.р.}$ – реакция бару вакытындагы температура, K .

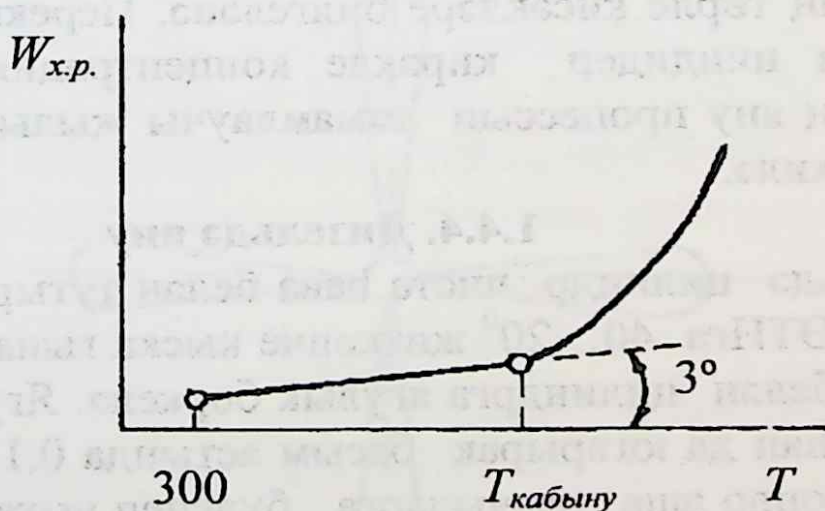
Әгәр дә реакция (яну) жылылык бүленеп чыгу процессы белән барса, бу экзотермик реакция була. Бу вакытта ике төрле очрак булырга мөмкин:

1) Өслек аша читкә жибәргән жылылык янып чыккан жылылыктан ким түгел (мисал өчен: черү), ул вакытта процесс озак бара;

2) Янудан чыккан жылылык читкә жибәргән жылылыктан күбрәк булса – температура күтәрелә, х. р. нең тизлеге арта бара, жылылык тагы да күбрәк чыга һәм “жылылыктан шартлау” барлыкка килә.

13 нче таблица

Ягулык	метан	бензин	дизель ягулыгы	мотор майлары
$t_{кабыну}, ^\circ C$	≈ 650	500...550	350...380	300...380



$T_{кабыну}$ – кабыныш китү температурасы

16 нчы рәсем

Бу мисалдан ни өчен майлы чүпрәкләр өеме үзеннән—үзе кабынып китүе, ә бензинга манчылган чүпрәкнең кабынмаганы инде ачык күренә.

(C_nH_m) углеводородларының яну күренеше күпкә катлаулырак. Ягулык-һава катнашмасын жылытканда (мәсәлән, кысу вакытында) башта ялкын алды реакцияләре күренә — чылбырлар өзелә, аларга кислород керә, перекисьлар һәм алдегидлар барлыкка килә. Мәсәлән,

пероксиуксуслы кислота: CH_3COOOH ;

этилның гидроперекиси: C_2H_5OOH ;

альдегидлар: $OHC - CH_3$;

альдегид төркеме:
$$\begin{array}{c} O \\ | \\ H - C \end{array};$$

карбониль төркеме:
$$\begin{array}{c} H \\ | \\ C = O \end{array}.$$

Алар барысы да түбән активация энергиясенә ия, димәк, алар күренер-күренмәс кенә салкын яктылык сибү һәм жылылык бүленеп чыгару белән таркалуның зур тизлегенә ия булалар. Спектраль анализ ясау юлы белән углеводород молекулаларның төрле кисәкләре билгеләнә. Перекись һәм альдегидларның ниндидер кирәкле концентрацияләренә ирешкәннән соң яну процессын тәмамлаучы жылылык шартлавы барлыкка килә.

1.4.4. Дизельдә яну

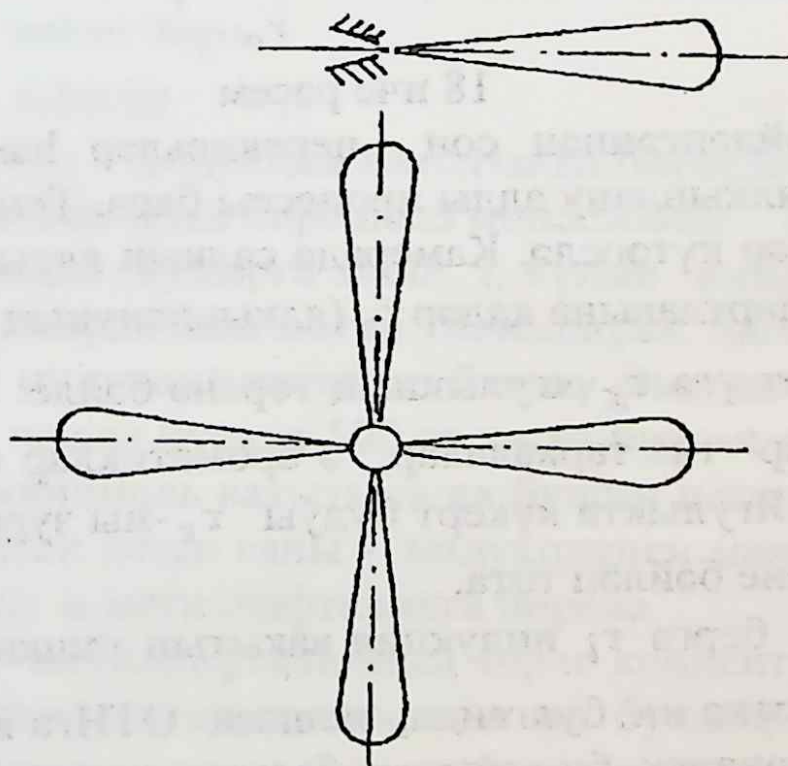
Дизельдә цилиндр чиста һава белән тутырыла. Кысу вакытында, $\Theta T H_{га}$ 40...20⁰ житкәнче кыска гына вакытта көчле басым белән цилиндрга ягулык бөркелә. Ягулык 100 МПа лы һәм аннан да югарырак басым астында 0,1...0,15 мм диаметрлы сопло аша тамчыларга бүленеп чыга һәм динамик басым астында алар тагын да вакланып парга әйләнә, һәм 550...600⁰ С ка кадәр жылынганч, яну камерасында факел

барлыкка килә. Әгәр дә вак тамчылар (5...10 мкм) барлыкка килсәләр, ул вакытта алар еракка очмый, сопло тирәсендә генә парга әйләнәләр.

Әгәр дә эре тамчылар (>50 мкм) барлыкка килсә, ул вакытта алар цилиндр стенкаларына оча, тиешенчә парга әйләнеп бетмиләр.

Бөркү өчен беренче таләп – тамчыларның тулы спектрын алу (5 мкм ...50 мкм). Эре тамчылар шулай ук корым утыруга сәбәпче була. Бөркегечтә күпме генә соплолар булмасын (аларның саны гадәттә 4...8), һаваның бар күләмендә ягулык белән бертигез туендыру барыбер мөмкин түгел. Кайдадыр (гадәттә факелга якынарак өлештә) ягулык күбрәк, кайдадыр (факеллар арасында) азрак яки ягулык бөтенләй булмый (17 нче рәсем).

Цилиндр күләмендә ягулык концентрациясен тигезләү өчен һаваның әйләнүен оештырырга кирәк була. Моның өчен ягулык бөркегән вакытта һава бер факелдан икенчесенә тикле узарга тиеш.



17 нче рәсем

Күренеп тора, тамчыларның тулысынча парга әйләнүе өчен берникадәр вакыт кирәк була, менә шул вакыт ялкынлануның физик тоткарлануы τ_{ϕ} дип атала (18 нче рәсем). τ_{ϕ} ягулык тамчыларының зурлыгына, ягулыкның физик үзлегенә һәм һаваның температурасына бәйле.



18 нче рәсем

Парга әйләнгәннән соң перекисьләр һәм альдегидлар тупланып ялкынлану алды процессы бара. Температура 200-300°Ска кадәр күтәрелә. Камерада салкын ялкыннар күзәтелә. Жылылык шартлавына кадәр τ_x (ялкынлануның химик тоткарлануы) вакыт үтә. τ_x ягулыкның төрөнә бәйле: авыр алканнар һәм алкеннар тиз таркалалар, ә ароматиклар шактый акрын таркалалар. Ягулыкта күкерт булуы τ_x -ны зурайта, чөнки ул перекисьләрне бәйләп тота.

$\tau_{\phi} + \tau_x$ бергә τ_i индукция вакытын тәшкил итә. τ_i кечкенә кыйммәتكә ия булганда, пешкәк ΘT га якынлашканчы ук яну башланачак, бу вакытта басым күтәрелүе йомшак барачак. Бу исә түбән температурада куера һәм кристаллаша

торган авыр нефть фракцияларенә хас. Ә τ_i зур кыйммәткә ия булганда, бөркү вакытында ягулык янмыйча туплана, соңыннан янып китә һәм басым кинәт кенә күтәрелә. Мондый сыйфатларга жиңел фракцияләр – керосин һәм бигрәк тә газ белән бензин ия. Димәк, бу ике каршылыкны килештерә торган ягулык кирәк.

$$\tau_i = B \cdot p^{-m} \exp \frac{E_{акт.}}{RT}, \quad (1.32)$$

биредә

- B – конкрет шартларга бәйле булган даими зурлык;
- p^{-m} - процесс вакытындагы ($-m$) дәрәжәсендәге басым;
- $E_{акт.}$ – активация энергиясе;
- T – бөркү башында яну камерасындагы температура.

Бөркү башында басым һәм температура югары булса, ә активация энергиясе түбән булса, бу очракта индукция вакыты түбән була.

Нәтижәләр:

- жылылыкны читкә жибәрү никадәр югары булса, кысу дәрәжәсе шулкадәр югары булырга тиеш;
- зур үлчәмле дизельләр тотрыклы ялкынлану шартларына яхшырак җавап бирә.

Хәрәкәтчел фактор - σ_i .

Хәрәкәтчел фактор – индукция вакытында бөркелгән ягулык микъдарының бөтен цикл бирешенә мөнәсәбәте: $\sigma_i = g_i / g_{цикл}$, 0,5...0,8 чикләрендә булырга тиеш. τ_i күпме кимрәк булса, шулкадәр σ_i гә кимрәк һәм мотор йомшаграк эшли.

Цетан саны: индукция вакытын бәяләү өчен цетан шкаласы кертелә. Бу шкала буенча 100 гә тигез булган цетан саны индукциянең минималь вакытына ия булган цетанга бирелә, нульгә тигез булган цетан саны - индукциянең максималь вакытына ия булган α -метилнафталинга бирелә.

Цетан һәм α -метилнафталинның төрле концентрация катнашмалары арадаш индукция вакытына ия булалар.

Ягулыкны сынау махсус мотор җайланмасында үткәрелә.

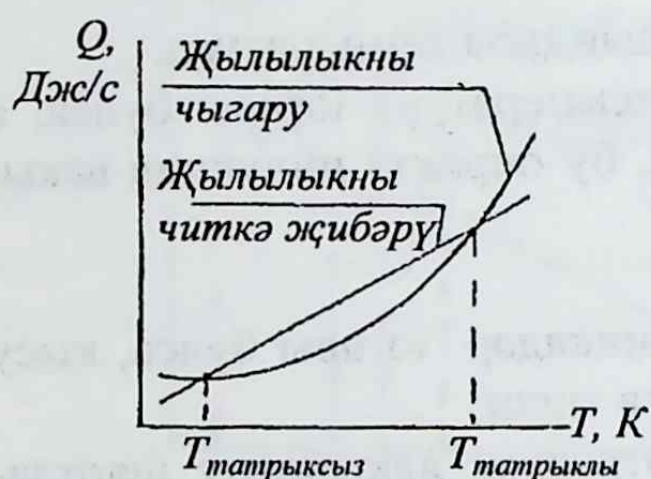
Ягулыкның цетан саны цетанның α -метилнафталин белән катнашмасындагы процент санына тигез була. Бу катнашма үзенең сыйфаты буенча ягулыкка туры килә. Әйттик, ягулык 55% цетан һәм 45% α -метилнафталин катнашмасының ялкынлануының тоткарлану почмагы буенча эквивалент булсын ди. Ул ягулыкның цетан саны 55.

ГОСТ 305-82 буенча дизель ягулыгының цетан саны 45тән түбән булырга тиеш түгел. Түбән температураларда (-20°C тан түбән) кабыну канәгәтле булмаганда ягулыкка цетан санын 10 берәмлеккә арттыра торган 1% кадәр изопропилнитрат кушарга кирәк.

Тотрыклы ялкынлануның шартлары:

Жылылыкны читкә жибәргә тәэсир итүче факторлар:

- пешкәк һәм цилиндр головкасы материалы;
- суыту системасы;
- яну камерасы диаметры.



19 нче рәсем

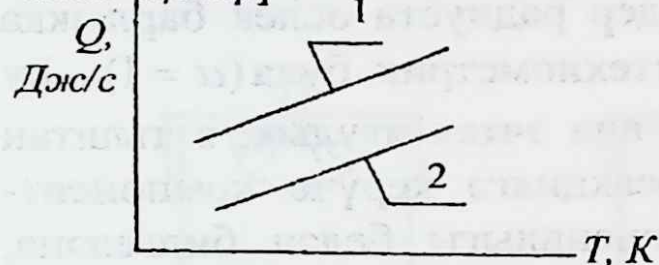


1-Пешкәк һәм головка алюминий эретмәдән ясалган.

2 -Пешкәк һәм головка чуеннан ясалган.

20 нчы рәсем

Жылылыкны
читкә жіберү

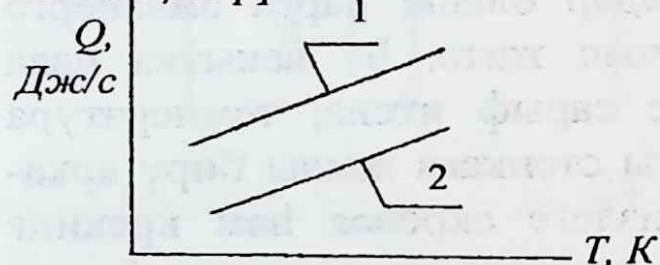


1—Сыеклык белән суыту сис-
темасы.

2—Һава белән суыту система-
сы.

21 нче рәсем

Жылылыкны
читкә жіберү



1-Цилиндр диаметры 100 мм
дан кимрәк.

2-Цилиндр диаметры 150 мм
дан зуррак.

22 нче рәсем

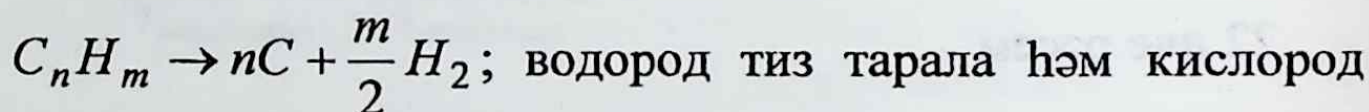
Шулай итеп, эшче катнашмада тулаем янып китәр алдын-нан $600...800^{\circ}\text{C}$ ка кадәр кызган һава, перекисьле һәм альдегидлы ягулык парлары һәм сыек ягулык тамчылары була.

Жылылык шартлавы вакытында пар фазасы сарыф ителә, тиешле жылылыкның 70% бүленеп чыга. Бу гамоген реакция фазасы, аның тизлегә ягулыкның химик үзлекләре белән билгеләнә (башлыча $E_{акт}$ энергиясе белән).

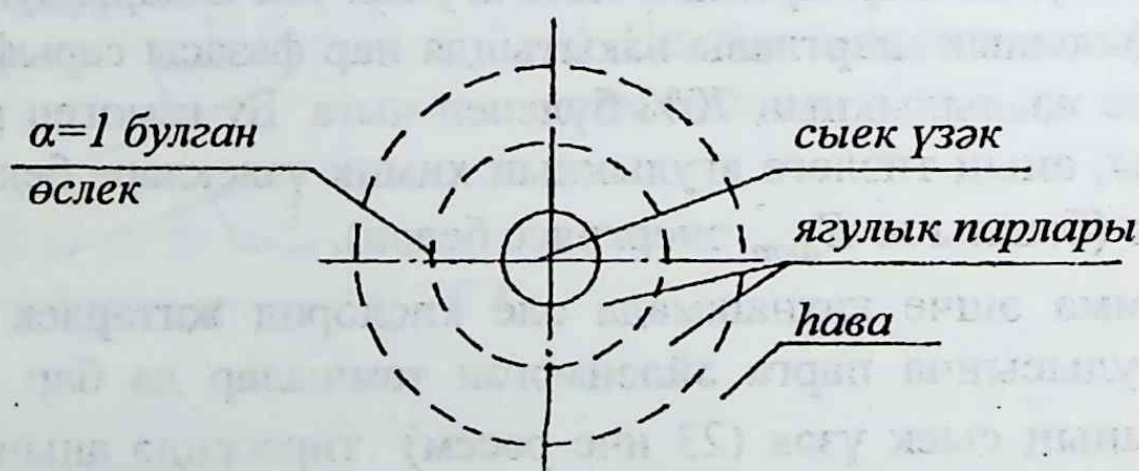
Әмма эшче катнашмада әле кислород житәрлек ($\alpha > 1$) һәм тулысынча парга әйләнмәгән тамчылар да бар ($\alpha < 1$). Тамчының сыек үзәк (23 нче рәсем) тирәсендә аның парла-

рыннан болыт хасил була. Парлар әйләнә-тирә һавага таралалар, ә һава сыек үзәккә керә. Болгану хасил була.

Сыек үзәк тирәсендә күпмедер радиуста өслек барлыкка килә, анда катнашма составы стехиометрик була ($\alpha = 1$). Бу өслектә ялкын фронты урнаша, аңа эчтән ягулык, ә тыштан кислород килә. Яну тизлегә реакциягә керүче компонентларның таралу агымының интенсивлыгы белән билгеләнә, (ягъни ягулыкның химик үзлекләре белән түгел, ә физик үзлекләре белән билгеләнә, чөнки һава теләсә нинди ягулык өчен дә бер). Яну диффузион (таралу) исемә йөртә. Шулай итеп, шартлаудан калган 80...90% тамчы янып бетә. Ләкин үзләренәң эре размерлары (диаметры 50 мкм дан зур) аркасында тамчыларның 10% ка кадәр өлеше парга әйләнергә өлгерми һәм стенкага кадәр очып житә. Бу вакытка һава кислородының күп кенә өлеше сарыф ителә, температура югары була ($\sim 1900^{\circ}\text{C}$), якындагы стенкага жылы бирү аркасында химик реакциясенәң тизлегә әкрәнә һәм крекинг процессы – температура тәэсире астында кислородтан башка ягулык молекулалары таркалу башлана.

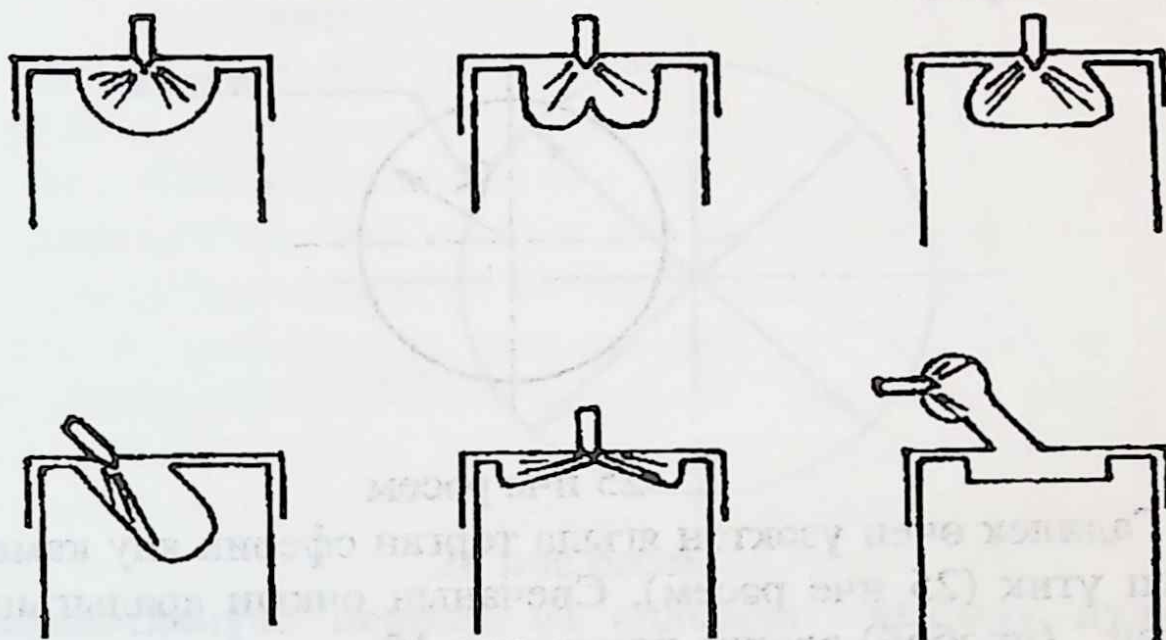


калдыкларында янып бетә, ә углерод корым хасил итә. Жылылык киңәю линиясендә бүленеп чыга (пешкәк АТНга юнәлә), шуңа күрә ул эшкә күчми.



23 нче рәсем

Яну камерасының формалары:



24 нче рәсем

Нәтижә: Эре тамчылар жылылыкны югалтуга китерәләр һәм корым (клапанда һәм пешкәк төбөндә көек) хасил итәләр.

1.4.5. Мәжбүри кабызу белән эшләгән (бензин һәм газ) двигательдә катнашманың януы

Кысу барышында эшче катнашманың температурасы күтәрелә: $T_o = 320 K$, $n_1 = 1,36$ булганда $T_c = T_o \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}$.

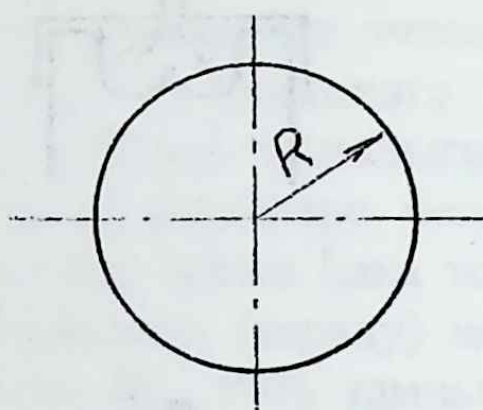
Бензин молекулаларының, бигрәк тә газ молекулаларының ныклылыгы дизель ягулыгының чылбырлы молекулалары ныклылыгына караганда югарырак, әмма алар югары температурада җимерелүгә дучар булалар.

14 нче таблица

ε	6,5	7,0	7,5	8	8,5	9	9,5	10
T_o, K	628	645	661	677	691	706	720	733
t_o, C	355	372	388	404	418	433	447	460

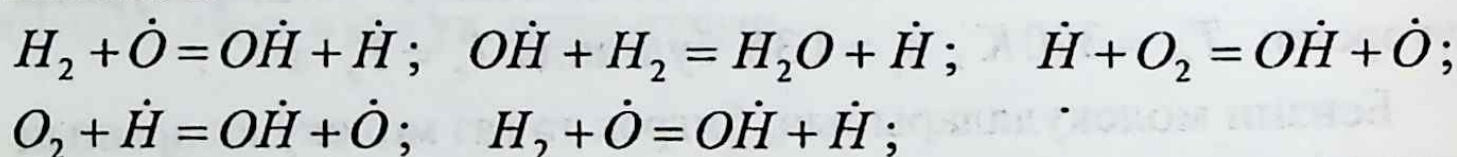
Температураның күтәрелүе ягулык молекулаларының һаваның югары тизлекле молекулалары белән бәрелешү ихти-

маллыгын арттыра, ягъни углеводород молекуласының перекисьләр һәм альдегидлар барлыкка китереп жимерелү ихтималлыгы арта.



25 нче рәсем

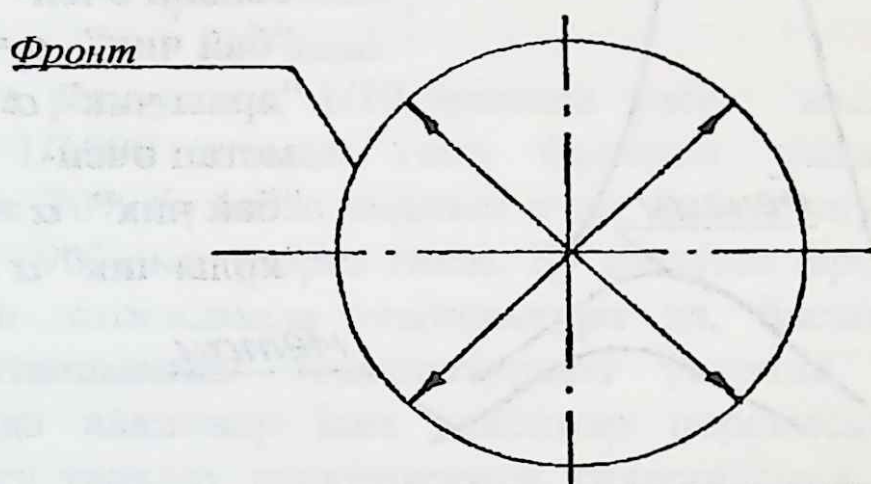
Гадилек өчен үзәктән ягыла торган сферик яну камерасын карап үтик (25 нче рәсем). Свечаның очкын аралыгында юл салган (пробой) электр шнурында 10 мең градус дәрәжәсендәге температуралы берникадәр күләмдә плазма барлыкка китерә. Жисемнең химик элементларның төшләре белән электроннар болыты арасында бәйләнеш булмаган очрактагы халәте плазма дип атала. Бу атом төшләр һәм электроннар кислород һәм углеводород молекулаларына эләксә, аларны жимерүгә китерә һәм ирекле атомлы кислород, водород барлыкка килә, алар ягулык молекулалары белән кушылалар. Мәсәлән:



Күренгәнчә, киң тармаклы чылбырлы реакция бара, бар реакцияләр дә экзотермик, димәк, температура күтәрелү белән жылылык ташкын сыман бүленеп чыга, ягъни жылылык шартлавы механизмы башлана.

Яну камерасы күләме ягулык-һава катнашмасы белән тулы. Катнашма бөтен күләмдә бертөрле. Мондый катнашма гомоген катнашма дип атала. Бу катнашма буенча үзәктән яну реакциясе тарала, ул ялкын фронты дип атала (26 нчы рәсем). Ялкын фронты - ул концентрация һәм температураның аеры-

лу өслеге. Фронт алдында - салкын катнашма, фронт артында — кайнар яну продуктлары.



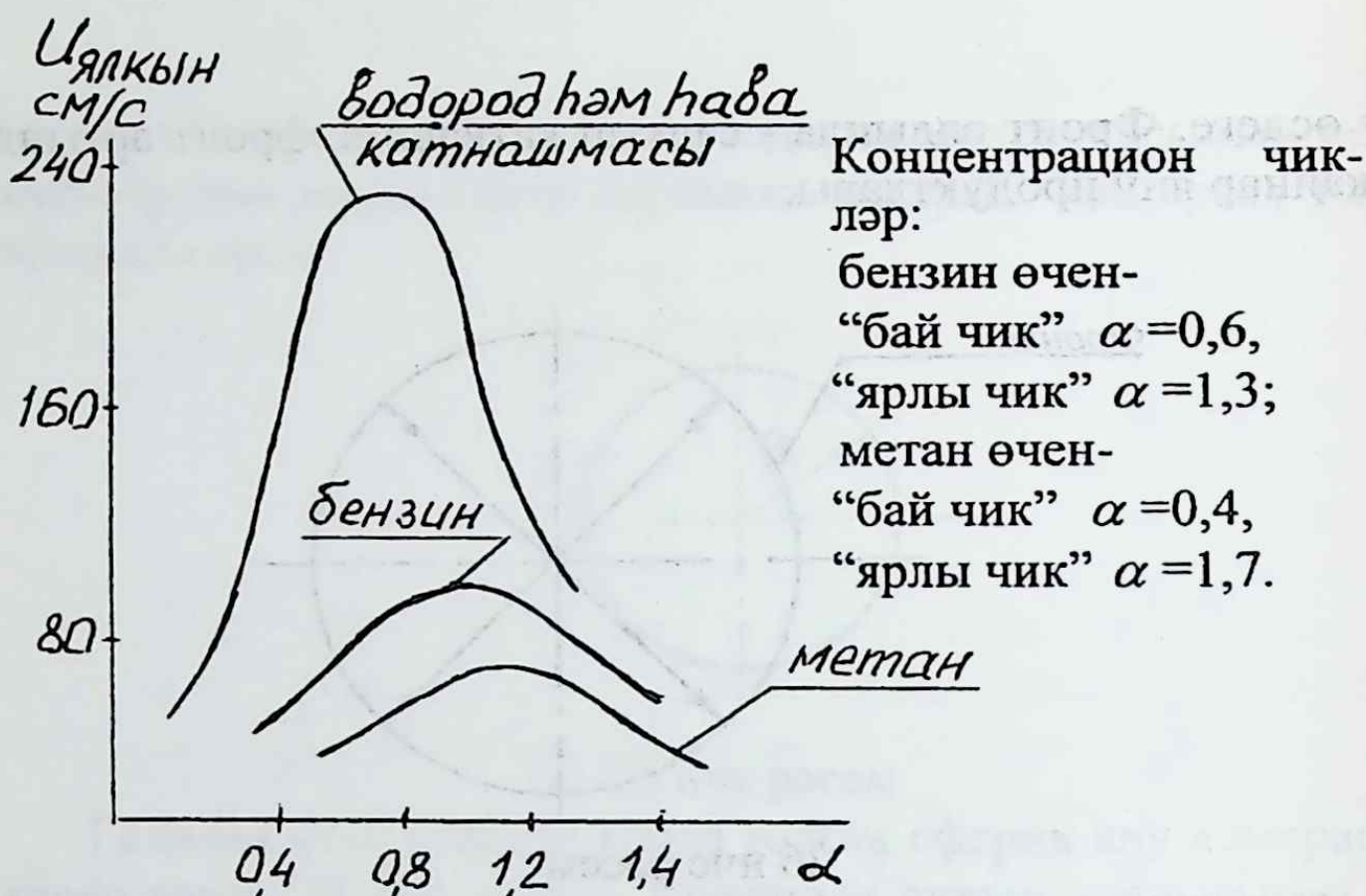
26 нче рәсем

Хәрәкәтләнүче пешкәк үз алдында кысылу дулкыны китереп чыгара (мәсәлән, шундый ук дулкын хәрәкәтләнүче пароход борыны алдында барлыкка килә). Ә пешкәк туктаганнан соң ӨТНда бушандыру дулкыны барлыкка килә. Шулай итеп, ялкын фронтының хәрәкәте дулкынлы күренешләр фонында бара. Болар барсы да двигателдә яну күренешен катлауландыра.

Моннан тыш, фронт артында температураның күтәрелүе күләм үзгәрмәс булганда яну камерасындагы басымны күтәрә, чөнки

$$pV = RT.$$

Әгәр ялкын фронтының тизлегә тавыш дулкыны тизлегеннән кимрәк икән, басым фронт артында гына түгел, ә бәлки бөтен күләмдә үсә. Басым күтәрелү белән бергә эшче катнашмада ялкын фронты алдында температура да күтәрелә. Бензин-һава һәм газ-һава катнашмаларындагы ялкын фронты тизлегә катнашма составына бәйле (27 нче рәсем). Рәсемдә бомбада булган фронт тизлегенә катнашма составы белән бәйлелеге бирелгән (монда катнашма хәрәкәтсез — бу ламинар яну дип атала). Рәсемдә янунуң концентрацион чикләре күрсәтелгән.



27 нче рәсем

Практикада яну камерасында тулысынча яну вакыты ялкын фронтының таралу тизлегенә бомбадагы караганда ун тапкырга зуррак икәннен күрсәтә, тизлек инде см/с түгел, ә м/с дәрәжәсендә. Катнашманың “салкын” өлешендә тавыш дулкыны тизлегенә ≈ 500 м/с. Реаль двигателдә фронт тизлегенә үсүе катнашманың югары турбулентлыгы белән бәйле.

Аудитория турбулентлыкның нәрсә икәннен белмәгән очракта, мисаллар:

- ламинар агым – ул солдат строе кебек, монда колонна-ның тизлегенә һәм һәр солдатның тизлекләренә зурлыгы һәм юнәлешенә буенча бертигез;

- турбулент агым – базарда шартлау - халык төркеме капкага ашкына, капка аша чыгу тизлегенә һәр паникерның тизлегеннән зурлыгы буенча да, юнәлешенә буенча да аерыла.

Яну вакыты яну камерасының размерларына пропорциональ

$$\tau_{\text{яну}} = \frac{r}{U_{\text{ялкын}}},$$

монда r — ялкынның үзәктән фронтка кадәр юлы, ә бүленеп чыккан жылылыкның микъдары — күләмгә пропорциональ

$$q = \frac{r^3}{U_{\text{ялкын}}},$$

ягъни фронт радиусның 1/10 өлешен узса, жылылыкның бары тик 1/1000 өлеше генә бүленеп чыга. Димәк, жылылыкның 70% бүленеп чыксын өчен, фронт яну камерасы радиусының 90% ын үтәргә тиеш. Бу вакытта фронт алдындагы салкын катнашмада температура да, басым да үсә. Салкын катнашманың температурасы үскәндә, ниндидер температурада алканнар һәм алкеннар перекисьләргә һәм альдегидларга таркалу реакциясенә тизлегә арта. Бу тизлек арту перекисьләр һәм альдегидлар концентрациясенә күтәрелүенә китерә. Әгәр дә берникадәр күләмдә (мәсәлән, чыгару клапаннарында) перекисьләр һәм альдегидларның концентрациясе чиктән тыш күтәрелсә, перекисьләр активациясе энергиясе нульгә тигез булганлыктан, монда килеп житкән фронт кисәк кенә тизләнеш ала.

Әгәр дә фронтның тизлегә тавыш дулкыны тизлегеннән югары булса, ул вакытта басымның, шулай булгач, температураның да күтәрелүе фронтта тупланачак. Ялкын фронтының бәрмә дулкынга күчүе күзәтелә. Бу күренеш детонация, ул яну детонацияле дип атала. Моторның кечкенә һәм уртача әйләнешләрендә газны кисәк кенә биргәндә, металл шакылдаулар ишетелә. Бу өлешчә детонация булуны раслый, чөнки бәрмә дулкыны цилиндр стенкасы белән ике металл предмет кебек үзара тәэсир итешә.

Нормаль (бирелгән кысу дәрәжәсе өчен) ягулык һәм кабызуның дәрәс итеп куелуы өлешчә детонация буенча билгеләнә: 50-60 км/сәг тизлек вакытында турыдан-туры тапшырганда газ кисәк кенә бирелә (педальне идәнгә кадәр басарга). 10...15 сек дәвамында металл шакылдаулары ишетелергә тиеш.

Әгәр ягулык түбән антидетонацион үзенчәлекләргә ия яки бик иртә кабызу булса, детонацияле яну бик иртә башланарга

мөмкин. Бу нык үскән детонация: двигатель егәрлеген югалта, кыза һәм кара төтен чыгара. Пешкәк төбенен тишелеп чыгуына, божраларның кокславына һәм чыгару клапаннарының янып чыгуына китерә.

Бензинның детонацион үзенчәлеген бәяләү өчен октан саннары шкаласы кертелә. Бу шкалада нуль итеп нормаль гептанның тотрыклылыгы, ә 100 итеп изооктанның тотрыклылыгы алына. Бу ике углеводородларның катнашмасы изооктан/нормальгептанның төрле чагыштырмаларында төрле детонацион тотрыклылыкка ия була.

Ягулыкларны детонацион тотрыклылыкка сынауны кысу дәрәжәсе үзгәрә торган берцилиндрлы махсус двигательләрдә үткәрәләр. Двигатель детонометр – детонацияле януның башын билгеләүче прибор белән жиһазландырыла. Ягулыкның октан саны - ул аңа детонацион тотрыклык буенча тиңдәш катнашмадагы изооктанның процент күләме. Мәсәлән: ягулыкның детонацион тотрыклылыгына 75% изооктан булган катнашма туры килә, димәк, ягулыкның октан саны 75.

Октан санын билгеләүнең ике ысулы бар:

- мотор ысулы – сынау вакытында ягулык-һава катнашмасы карбюратордан соң 149°C кадәр жылытыла. Мотор ысулы белән сыналган автомобиль бензиннары ГОСТ 2084-77 буенча маркалана, мәсәлән, А-76; монда А – октан саны мотор ысулы белән билгеләнгән автомобиль бензины, 76 - октан саны;

- тикшерү ысулы – сынаулар вакытында һава карбюраторга хәтле 52°C (125°F) кадәр жылытыла. ГОСТ 2084-77 буенча маркалана, мәсәлән, АИ-92; АИ – октан саны монда тикшерү ысулы белән билгеләнгән автомобиль бензины, 92 – октан саны.

Мотор ысулы зур йөкләнешле йөк автомобиле двигателенең уртача әйләнешләр вакытындагы эш шартларын модельләштерә. Ә тикшерү ысулы жиңел автомобиль двигателенең кечкенә өлешчә йөкләнешләр, әмма двигательнең юга-

ры эйлэнешлэре вакытындагы эш шартларын модельлэштерэ. Шуңа күрә АИ-93 бензины мотор ысулы белән билгеләнгән А-85...86 бензинына туры килә.

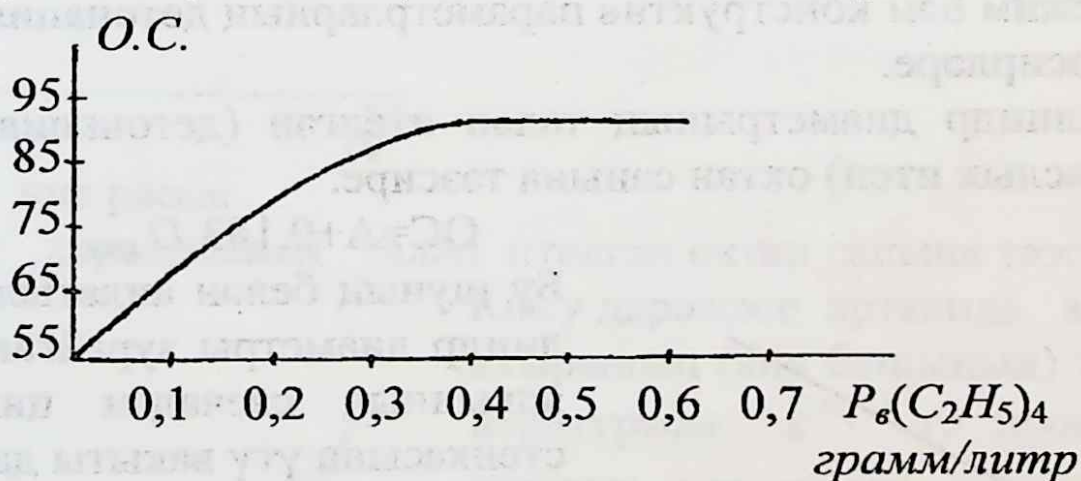
Турыдан куган бензиннарның октан саны 55...58 дән артмый. Мондый бензиннарның октан саны нефтьнең составы, ягъни алкан һәм алкеннар (түбән октан саны) һәм циклан белән ароматиклар (югары октан саны) күләме белән билгеләнә.

Бензинның октан санын күтәрүнең ике юлы бар.

1 — (перекисьләр һәм альдегидлар) концентрациясен киметүче кушылмалар (присадки) өстәү;

1.1.1. - тетраэтилкургаш (ТЭК) нигезендә “этил” сыекчасы өстәү $P_b(C_2H_5)_4$ - 0,5 грамм/литрга кадәр (28 нче рәсем).

Төрле урыннарда табылган нефтьләрдән ясалган бензиннар өчен бәйләнешләр бертөсле, әмма саннар ягыннан төрлечә (бик күпкә түгел). Бензинда ТЭК күп булган саен, аның агулылыгы бик тиз арта, ә октан саны рәсемдә күрсәтелгәнчә. Яңа ГОСТ Р 51105-97 буенча этил бензинының бары тик бер генә сорты – нормаль 80 (элеккеге А-76) чыгарыла.



28 нче рәсем

1.1.2. Марганецның циклопентадиенилтрикарбонилын кушу.

Ул ТЭК урынына “шәһәр” бензиннарына өстәлә. Бу кушылманың эш механизмы шунда, T_c -га якын температураларда алар атомар кургаш һәм марганецка таркалалар. Бу метал-

лар атомар торышта перекисъләрне һәм альдегидларны бәйли-
ләр, аларның үзлегеннән таркалу үзлекләрен юкка чыгаралар.

1.2. Октан саннары югары булган бензол, метанол, этанол, метилтретичнобутил эфиры (МТБЭ), вторичнобутил спирты (ВБС) кебек ягулыклар кушу.

2. Бензинны химик эшкәртү, аеруча риформинг юлы белән бензинның крекингы – алканнар һәм алкеннар $500...550^{\circ}\text{C}$ температурада катализатор катнашында цикланнарға әйләнә-
ләр. Катализаторның төрәнә карап гидроформинг һәм плат-
форминг була (платина, алюминий оксидлары). Хәзерге
вакытта риформинг юлы белән сыйфатлы бензин алалар.
ГОСТ Р 51105-97 буенча түбәндәге автомобиль бензиннары
(этилсыз) булалар:

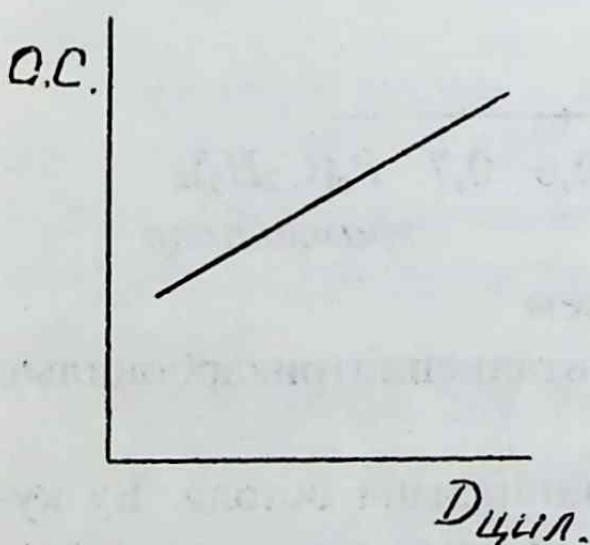
- нормаль 80 (А-76);
- регулярь 91 (иске аналог – этил булмаган АИ-92, АИ-93);
- премиум-95;
- супер-98.

Этил булган вариантта нормаль –80 бензинында ТЭК 0,01
г/л дан кимрәк.

Режим һәм конструктив параметрларның детонацияле яну-
га тәэсирләре:

1) цилиндр диаметрының таләп ителгән (детонацияне бул-
дырмаслык итеп) октан санына тәэсире.

$$OC=A+0,183 D_{\text{цил.}}$$



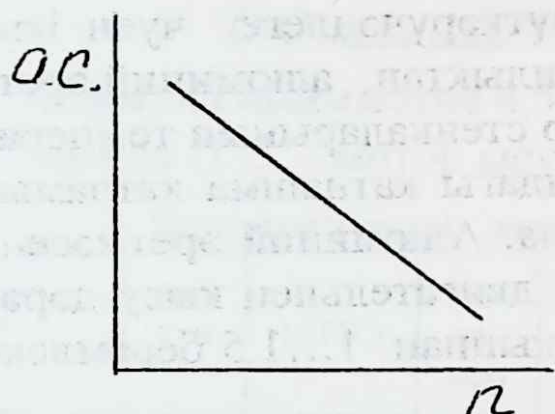
Бу шуның белән аңлатыла, ци-
линдр диаметры зурайган саен
ялкынның свечадан цилиндр
стенкасына үтү вакыты да арта.
Шуңа күрә перекисъләр һәм
альдегидлар концентрациясе
арта;

29 нчы рәсем

- 2) терсәкле валның әйләнү ешлығының таләп ителгән октан санына тәәсире.

$$OC = A - B \cdot n.$$

Әйләнешләрнең артуы нәтижәсендә ялкынның үтү вакыты кими, шунлыктан перекисьләр һәм альдегидлар артык концентрациягә кадәр жые-лырга житешмиләр;

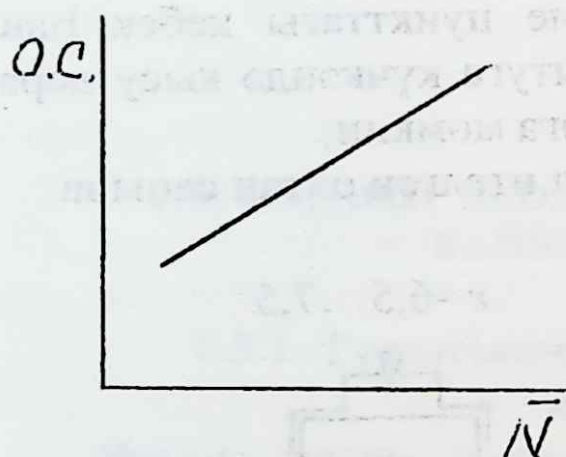


30 нчы рәсем

- 3) двигательнең йөкләнешенең таләп ителгән октан санына тәәсире.

$$OC = A + B \cdot \bar{N}.$$

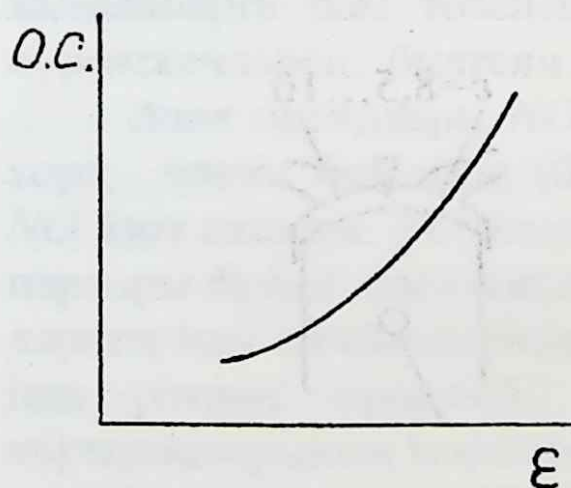
Йөкләнеш арту белән эш жисе-менең температурасы да арта, шуңа күрә альдегидлар һәм перекисьләр интенсиврак туплана;



31 нче рәсем

- 4) кысу дәрәжәсенең таләп ителгән октан санына тәәсире.

Кысу дәрәжәсе артканда, кысу ахырының (яну башының) тем-пературасы ϵ^{n-1} гә пропор-циональ үсә, димәк, перекись-ләр һәм альдегидлар барлыкка килү һәм туплану өчен уңайлы шартлар туа;



32 нче рәсем

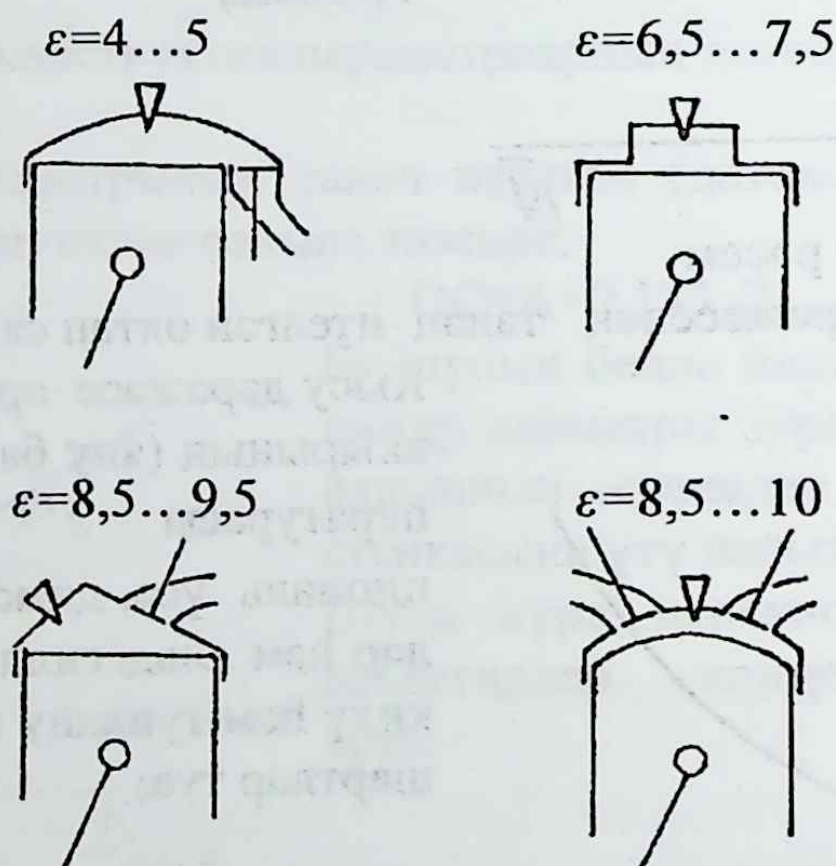
5) цилиндр головки һәм пешкәк материалларының таләп ителгән октан санына тәэсире.

Алюминий эретмәсенәң жылыткәрүчәнлегә чуен һәм корычныкына караганда зуррак. Шунлыктан, алюминий эретмәсеннән ясалган детальнең кайнар стенкаларының температурасы түбәнрәк була. Стенка янындагы катнашма катламының да температурасы түбәнрәк була. Алюминий эретмәсеннән ясалган пешкәк һәм головкалы двигательнең кысу дәрәжәсе корыч һәм чуеннан ясалганныкыннан 1...1,5 берәмлеккә югары булырга мөмкин;

6) суыту системасының таләп ителгән октан санына тәэсире.

Һава белән суытылган вакытта цилиндр головкиның температурасы сыеклык белән суытылгандагыга караганда $50...70^{\circ}\text{C}$ ка югарырак. Тәэсир 3-нче пункттагы кебек. Һава белән суытудан сыеклык белән суытуга күчкәндә кысу дәрәжәсен 1...1,5 берәмлеккә арттырырга мөмкин;

7) яну камерасы формасының таләп ителгән октан санына тәэсире.



33 нче рәсем

Әдәбиятта мотор ысулы буенча кирәкле октан санын исәпли торган формула бар:

$$O.C._{\text{таләп ителг.}} = 125,4 - 413/\varepsilon + 0,183 \cdot D_{\text{цш.}}$$

Формула кыйммәтне 4,5...4 берәмлеккә арттырып бирә.

Монда $O.C.$ – мотор ысулы буенча, $D_{\text{цш.}}$ – мм.

Белешмә өчен мәгълүматлар

15 нче таблица

	ме- тан	МТБЭ	ме- та- нол	эта- нол	про- пан	бу- тан	H ₂	дизель ягулы- гы	норм. геп- тан	ок- тан
O.C (м.ы)	115 ± 5	117	105 ... 102	98 ... 96	96	90	90 ... 45	30 ... 20	0	-20

$O.C.$ һәм $Ц.C.$ арасындагы бәйләнеш

$$Ц.C. = 60 - \frac{O.C.}{2}$$

1.5. ЭЯДНЕҢ ЭКОЛОГИК КУРКЫНЫЧСЫЗЛЫГЫНЫҢ КАЙБЕР МӘСЪАЛӘЛӘРЕ

1.5.1. Тулысынча һәм тулысынча булмаган яну продуктлары

Янган газлар составының 99,0...99,9% – CO_2 , H_2O , N_2 һәм калдык кислород. Әмма калган нәкъ 1...0,1% ЭЯД-нең экологик күрсәткечләрен, ягъни янган газларның кешеләргә, хайваннарға һәм төзелеш корылмаларына зарарлы тәэсир күрсәткечләрен билгели.

- Азот оксидлары NO_x - унга якин төрле кушылмалардан тора, ләкин башлыча (бөтен оксидларның 98%ка кадәр) – NO азот оксиды. NO атмосферада NO_2 гә кадәр окисьлаша. Су парлары белән азот кислоталары барлыкка килә, алар кешеләрнең һәм хайваннарның йөрәк-кан тамырлары системасын һәм үпкәне зарарлый, агач яфракларына һәм архитектура корылмаларының мәрмәренә зыянлы.

- Углерод окисе CO – сөрәм газы, төссез, иссез, суда эре-

ми. Канда гемоглобинны агулуй, чөнки гемоглобин СОны кислородка караганда 200 тапкырга интенсиврак үзенэ тарта. Молекуляр массасы буенча (28) һавага якын (28,96), шуңа күрә үзеннән-үзе вентиляцияләнми. Янғын куркынычлыгы бар.

- C_xH_y углеводороды – 200гә кадәр углеводород катнашмалары, шул исәптән альдегидлар һәм карбониллар. Дизель сөрөменен начар специфик исе альдегидлар һәм перекисьләр белән билгеләнә (пероксиуксус кислотасы CH_3COOOH). Ләкин иң зыянлы состав өлеше булып бенз(α)пирен $C_{20}H_{12}$ тора. Ул бензол группасы жисеме, канцероген (рак тудыручы, рак барлыкка китерүче). Ул бигрәк тә дизель сөрөмендә куркыныч, чөнки корымга сеңеп, корым белән бергә үпкә альвеолаларында тоткарланып кала. Соңгы 100 ел эчендә башка онкологик авырулар арасында үпкә рагы белән авыручылар шәһәр кешеләре арасында 5%тан 80%ка артты, ә авыл кешеләре өчен үзгәрешсез калды.

- Күкерт кушылмалары, башлыча SO_x һәм SH_2 – суда яхшы эрүчән, зәһәр ярсыткыч исле. Организмда метаболизмны (жисемнәрнең аксым алмашынуын) бозалар.

- Кургаш оксиды – кумулятив үзлеккә ия (актык чиккә кадәр организмда жыела), баш мие эшчәнлеген зарарлый, либидоны (женси активлыкны) киметә, женси күзәнәкләрнең ген структурасын боза, мутациягә китерә (гарипләр туу).

Бөтен аталган матдэләр билгеле концентрациядә үлем куркынычы тудыра.

Зарарлылык дәрәжәсе

16 нчы таблица

CO	C_xH_y	SO_x	NO_x	альдегидлар	$C_{20}H_{12}$
1	3,16	16,5	41,1	41,5	1260000

- Корым – углеродның вак кисәкчекләре – мкм өлешләрәннән дистэләрчә мкм га кадәр. Ваклары - 10 мкм га кадәрләре - тәүлекләр буена һавада асылынган хәлдә булырга мөмкин. Корым үзе генә куркыныч түгел, чөнки кешелек йөз меңнәрчә ел төтенләнган мәгарәләрдә яшәгән – бернәрсә дә

булмаган. ЭЯДнең янган газларындагы корым сендерелгән бенз(α)пирен белән куркыныч. 50 мкм дан кимрәк кисәкчекләр үпкәгә ирекле рәвештә үтеп керәләр һәм чыгалар. 100 мкм дан зуррак кисәкчекләр борында һәм йоткылык өстендә тоткарланалар, соңыннан маңка белән чыгалар. Ә диаметры 50...100 мкм булган кисәкчекләр үпкә альвеолалары өслегендә тоткарланалар.

Санитар-гигиеник һәм техник күрсәткечләр буенча һавада зарарлы матдэләрнең нормалаштырылган концентрацияләре кертелә.

Санитар-гигиеник - шәһәр яки эш бинасы күләмендә зарарлы матдэләр концентрациясен нормалаштыру. Концентрацияне рөхсәт ителгән концентрация чиге белән чагыштырып, контрольне СЭС тормышка ашыра.

Техник - бу газ чыгару торбасыннан зарарлы матдэләрне сайлап алу юлы белән янган газларда зарарлы матдэләрне нормальләштерү (ЕЭК ООН №49 – 0,2 кагыйдәсе белән билгеләнгән ЕЭК ООН Евро-3 нормалары гамәлдә бар).

Зарарлы матдэләрнең рөхсәт ителгән чыгарып ташлануы (грамм/КВт. сәг.)

17 нче таблица

NO_x	CO	C_xH_y	корым
5	2,1	0,66	0,1 - тулы үлчәмләләр өчен 0,3 - дизельләр өчен ($V_h \leq 0,7$ һәм $n > 3000$ әйл/мин)

1.5.2. Гамәлдә булган норматив документлар

- тулы массасы 400 кг нан югары булган автомобильләрдәге бензин белән эшли торган ЭЯД өчен ГОСТ 17. 2.2. 03-87 “Бензин белән эшли торган двигательле автомобильләрдә янган газлардагы углерод һәм углеводород окисылары күләменең үлчәнеш нормалары һәм методлары”;
- тракторлар һәм комбайннар өчен ГОСТ 17.2.2. 05-87 “Трактор һәм үзйөрешле машина дизельләрендә кулланылган зарарлы матдэләрне билгеләүнең нормалары һәм методлары”;

- авырлыгы $3,5\text{ т}$ дан югары булган дизель автомобильләре өчен ОСТ 37.001. 234-81. "Автомобиль дизельләре. Янган газлардагы зарарлы матдэләрнең чыгырылып ташлануы. Үлчәнешләрнең нормалары һәм методлары";

- 400 кг нан $3,5\text{ т}$ га кадәрле тулы массалы автомобильләр өчен ОСТ 37. 001. 054-86 "Автомобильләр һәм двигательләр. Зарарлы матдэләрнең чыгарып ташлануы. Билгеләүнең нормалары һәм методлары".

2000 нче елдан соң кертелгән документлар:

- ГОСТ Р 41. 49-99 - дизель, бензин һәм газ двигательләре белән 3 т дан зуррак тулы массалы автомобильләр өчен;

- ГОСТ Р 51105-97 күкерт һәм кургаш окисъләренең ягулыктагы күләме буенча һавага чыгарылуын турыдан-туры булмаган нормальләштерү.

- Этил сыеклыгы 1 кг бензинга $0,1\text{ грамм}$ нан артык булмаска тиеш (ягъни $0,001$).

- Дизель ягулыгындагы күкертнең күләме ягулык стандартларында бирелә.

Автомобиль хужалыкларында этил бензины бик куркыныч булуы белән аерылып тора, аны дөрес кулланмаган очракта шоферларда һәм механикларда агулану билгеләре - пеләшләнү, тешләрнең бозылуы, либидоның түбәнәюе һ. б. лар күзәтелә. Боларны медицина тикшерүләреннән чыгып билгеләп була.

1.6. КИҢӘЮ ПРОЦЕССЫ

Термодинамика курсыннан (термодинамик циклар бүлеген) билгеле булганча, эшче жисемнең эчке энергиясенең эшкә күчү процессы адиабата киңәюе булып тасвирлана. Жылылыкны катнаш китереп житкерүле цикл өчен:

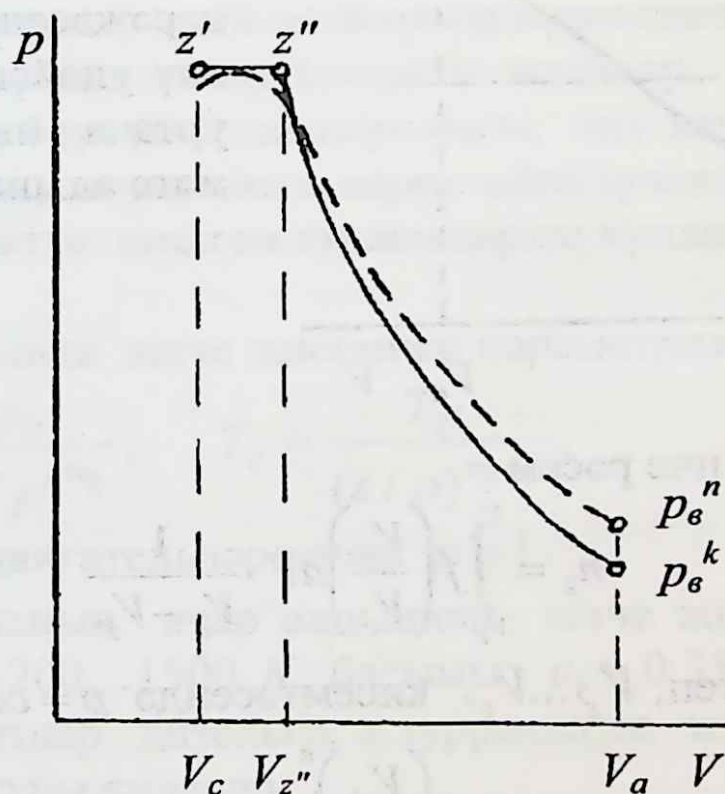
$$p_{z'} = p_z \text{ һәм } V_{z''} = \rho V_{z'} = \rho V_c,$$

монда $\rho = V_{z'}/V_z$ - алдан киңәю дәрәжәсе.

$$p_a = p_z / \left(\frac{\varepsilon}{\rho} \right)^{k_2}, \quad (1.33)$$

- k_2 — кинәюнең адиабата күрсәткече,
- ε — кысу дәрәжәсе.

Тоташ сызык — кинәюнең термодинамик процесслары (34 нче рәсем). Әгәр теоретик бәйлелек графигында чын циклны күрсәтсәк, ул вакытта чын циклда басым даими булмый, ә якынча даими зурлык кына, икенчедән, бердәй циклда чын циклның кинәю ахырында басым теоретик циклга караганда зуррак булачак. Әмма теоретик цикл модель булып хезмәт итәргә мөмкин.



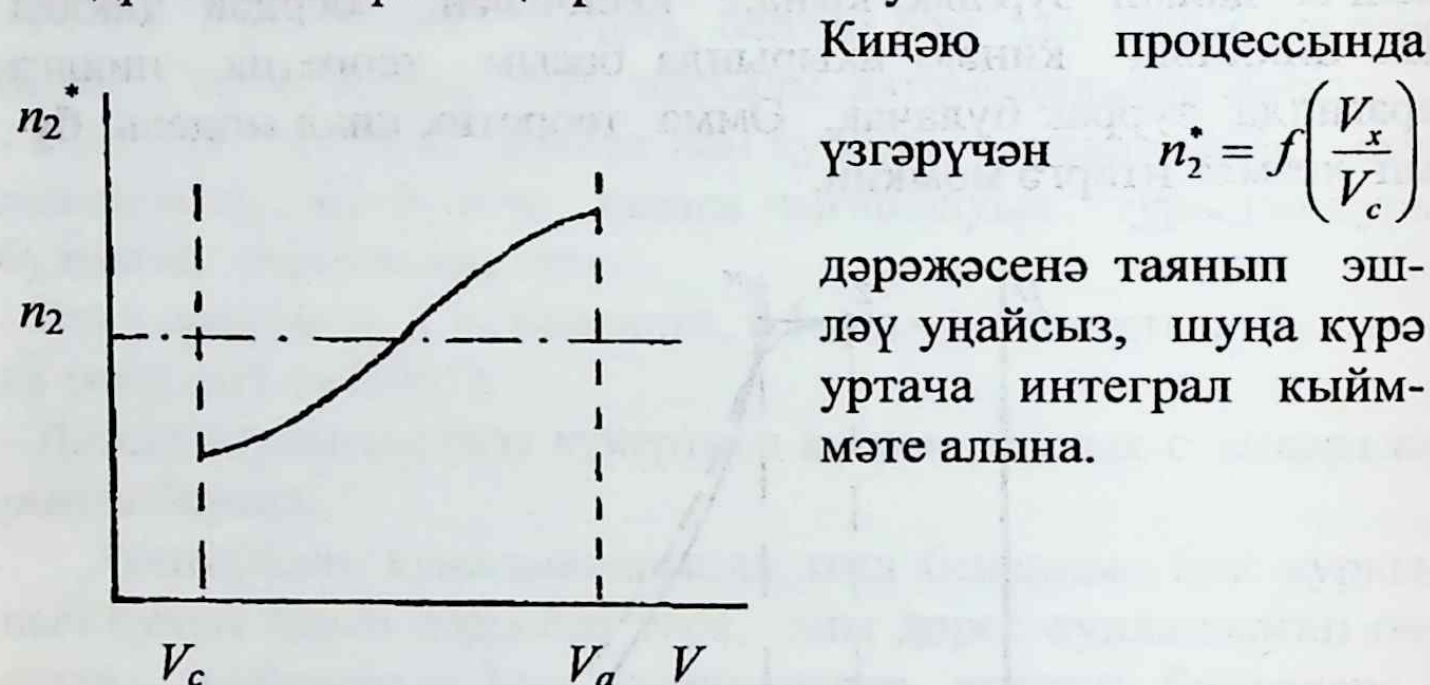
34 нче рәсем

Теоретик циклда эшче жисем үзгәрешсез, даими жылысыйдырышлыклы. Чын циклда бөтенләй башка эшче жисем — шактый зур күләмдә өч атомлы газлар кинәя: CO_2 һәм H_2O . Димәк, кысу адиабатасы белән чагыштырганда, кинәю адиа-

батасы күрсәткече кимрәк. Теоретик яктан исәпләсәк, ике атомлы газлар өчен $\kappa_1 = 1,4$ була, ә өч атомлы газлар өчен $\kappa_2 = 1,33$.

Адиабатадан аермалы буларак, чын процесс башта жылылыкны китереп житкерү белән алып барыла: эре тамчылар янып бетә, ә жылылыкның китүе иң кечкенә була, чөнки пешкәк өстендәге күләм зур түгел.

Пешкәк АТНда жылылыкны китереп житкерү юк, ә цилиндр стенкаларының күләме максимумга омтыла.



35 нче рәсем

$$n_2 = \int_{V_z}^{V_a} f\left(\frac{V_x}{V_c}\right) dV \cdot \frac{1}{V_a - V_z}. \quad (1.34)$$

Шулай итеп, $V_z' \dots V_z''$ кисемтәсендә $p = \text{const}$ дип исәп-

либез, чөнки $p_{z'} = p_z / \left(\frac{V_{z'}}{V_c}\right)^0$:

$$T_{z'} = T_z / \left(\frac{V_{z'}}{V_c}\right)^{0-1} = T_z \left(\frac{V_{z'}}{V_c}\right) = T_z \rho.$$

$V_z' \dots V_z''$ кисемтәсендә ($V_a = V_a$):

$$p_g = p_z / \left(\frac{V_{z'}}{V_g} \right)^{n_2} \quad T_g = T_{z'} / \left(\frac{V_{z'}}{V_g} \right)^{n_2-1}.$$

Тәжрибэләрдән күренгәнчә, беренче якынлашуда ук, төрле двигательләр өчен политропа күрсәткечләрен түбәндәгечә алырга була:

- бензин двигательләре өчен $n_2 = 1,24 \pm 0,005$;
- газ двигательләре өчен $n_2 = 1,24$;
- өрдертүсез дизель өчен $n_2 = 1,23$;
- өрдертүле дизель өчен $n_2 = 1,21 \dots 1,22$.

Цилиндрның үлчәме никадәр зуррак булса, n_2 шулкадәр зуррак була. Дизельләр өчен политропа күрсәткеченең зурлыгына шулай ук түбәндәгеләр йогынты ясыйлар: бөркү вакытындагы почмак, бөркүнең дисперслыгы, яну камерасындагы өермәнең торышы, ягулыкның парга әйләнүчәнлегә. Проектны эшлэгән вакытта аталган зурлыкларны кулланырга киңәш ителә.

Киңәю ахырында эшче жисемнең параметрлары:

$$p_g = \frac{p_z}{(\varepsilon / \rho)^{n_2}}; \quad T_g = \frac{T_{z'}}{(\varepsilon / \rho)^{n_2-1}}, \quad (1.35)$$

бензин һәм газ двигательләре өчен $\rho = 1$.

Чыгару клапанын ачар алдыннан эшче жисемнең температурасы $T_g = 1200 \dots 1500 \text{ K}$, басымы $p_g = 0,35 \dots 0,45 \text{ МПа}$. Кечерәк кыйммәтләр дизельгә, ә зурраклары жиңел ягулыклы двигательгә туры киләләр.

Киңәю процессының эше (дизельләр өчен):

$$L_{z \dots g} = L_{z' \dots z''} + L_{z'' \dots g};$$

$$L_{z' \dots z''} = p_z (V_{z'} - V_c) = \lambda \cdot p_c \cdot V_c (\rho - 1) = \frac{\lambda \cdot p_c \cdot V_h}{\varepsilon - 1} (\rho - 1);$$

$$L_{z'' \dots g} = \frac{1}{n_2 - 1} (p_z V_{z''} - p_g V_g) = \frac{\lambda \cdot p_c \cdot V_{z''}}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right);$$

$$V_{z^*} = \rho V_c = \frac{\rho V_h}{\varepsilon - 1}; \quad L_{z^* \dots e} = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot V_u \cdot p_c}{(\varepsilon - 1)(n_2 - 1)} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right),$$

монда

$\lambda = p_z / p_c$ - басымының күтәрелү дәрәжәсе;

$\delta = \varepsilon / \rho$ - соңыннан киңәю дәрәжәсе.

Кабул ителгән модельдә чыгарылыш процессы “e” ноктасында башлана, двигатель цилиндрында һәм атмосферада басымының чагыштырмасы

$$\bar{p} = \frac{p_o}{p_a} = \frac{0,1013}{0,417 \dots 0,38} = 0,24 \dots 0,27.$$

Шуңа күрә клапанны ачу вакытында аның кисемендә тавыш тизлеген урнаштырыла. 780 м/с – бензин двигателе өчен һәм 690 м/с – дизель өчен.

Бу басымының калдык газлар басымына кадәр бик тиз төшүенә китерә. Цилиндрны чистарткан вакытта, анда булган газлар адиабата буенча диярлек киңәяләр, бу калдык газлар температурасына кадәр киңәюгә китерә.

$$T_r = T_e / \left(\frac{p_e}{p_r} \right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}}. \quad (1.36)$$

Якынча исәпләүләр өчен:

$$T_r = T_e / \sqrt[3]{\frac{p_e}{p_r}}. \quad (1.37)$$

Калдык газларның шулай итеп исәпләнгән температура кыйммәте исәпләмәдә алдан алынган T_r кыйммәте белән чагыштырыла.

Әгәр аерма 7% тан артмый икән, ул вакытта исәпләмә дөрөс дип санала. Әгәр дә артып китсә, ул вакытта исәпләмәләрне формулаларга куеп яңадан кабатлыйлар:

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}; \quad T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{\gamma_r + 1}.$$

1.7. ИНДИКАТОР КҮРСӘТКЕЧЛӘР

Индикатор күрсәткечләр эшче жисемгә карый һәм двигателдәге механик югалтуларга бәйләнешле булмыйлар.

Циклның эше йомык контур буенча алынган интеграл кебек билгеләнергә мөмкин.

$$L_{\eta} = \oint p dV, \quad \frac{H}{M^2} \cdot M^3.$$

Бу интеграллар суммасы белән билгеләнә

$$L_{\eta} = \int_a^c p dV + \int_c^{z''} p dV + \int_{z''}^b p dV.$$

Күләм үзгәрү белән бәйле булган нинди дә булса процесста башкарылучы эшнә эшче жисемнең процесс башында һәм ахырындагы эчке энергияләр аермасы итеп алырга мөмкин. Жисемнең p - V координата ноктасындагы эчке энергиясе

$$U = c_v \cdot t \quad (t - \text{Цельсий градусларында}),$$

$$U = c_v \cdot (T - 273) \quad (T - \text{Кельвин градусларында}).$$

Инде билгеле булган

$$c_p - c_v = R \quad \text{һәм} \quad \frac{c_p}{c_v} = k$$

үзара бәйләнешләрдән исәплибез

$$c_v(k-1) = R \quad \text{һәм} \quad c_v = \frac{R}{k-1}.$$

Ул вакытта
$$U = \frac{1}{k-1}(RT - 273R).$$

Эчке энергияләрнең аермасы

$$\Delta U = L = \frac{1}{k-1}(RT_{\text{баш}} - RT_{\text{ахыр}}) = \frac{1}{k-1}(p_{\text{баш}}V_{\text{баш}} - p_{\text{ахыр}}V_{\text{ахыр}})$$

Чын циклга килгәндә:
кысу эше

$$L_{\text{кыс.}} = -\frac{p_c V_h}{(\varepsilon - 1)(n_1 - 1)} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}\right); \quad (1.38)$$

алдан кичәю эше

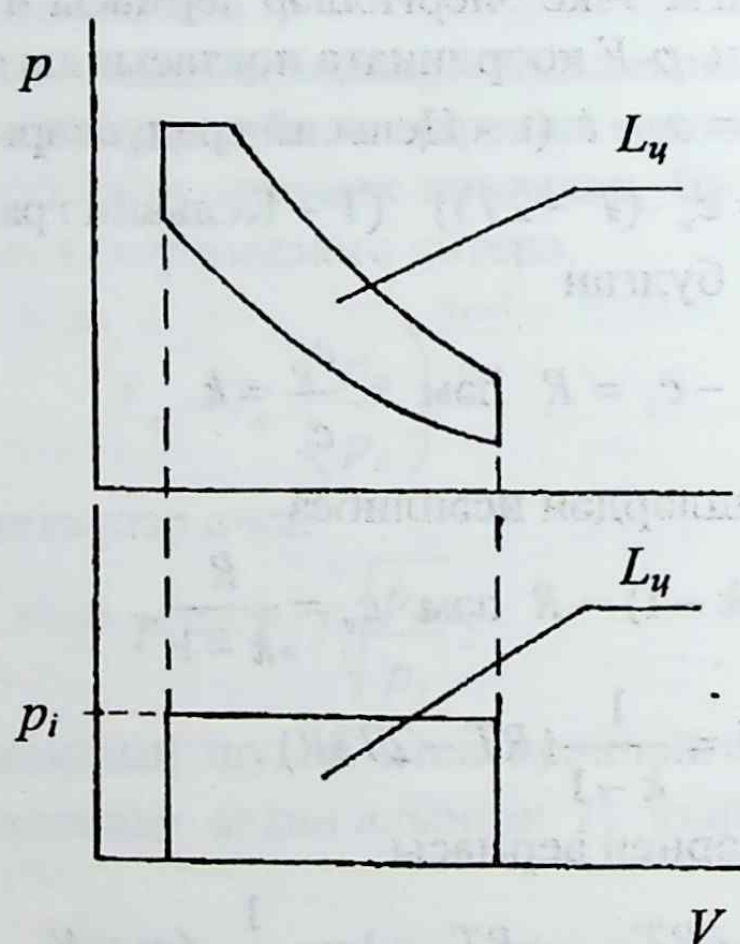
$$L_{ал.кш.} = \frac{\lambda \cdot p_c \cdot V_h}{\varepsilon - 1} (\rho - 1); \quad (1.39)$$

соңыннан кичәю эше

$$L_{соп.кш.} = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot V_h \cdot p_c}{(\varepsilon - 1)(n_2 - 1)} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right). \quad (1.40)$$

Уртача индикатор басым дигән төшенчә кертелә. Бу, әлбәттә, фиктив зурлык, чөнки аны үлчәп булмый. Цикл эшенә тигез тапкырчыгыш бирә торган итеп эшче күләмгә тапкырланган зурлык уртача индикатор басым дип атала.

36 нчы рәсемдәге ике диаграммадагы мәйданнар бертигез. p_i зурлыгы жылылык китереп җиткерү һәм жылылык



36 нчы рәсем

алмашуны оештырудагы камиллекне бәяли

$$p_i = \frac{L_u}{V_h}.$$

Ул вакытта

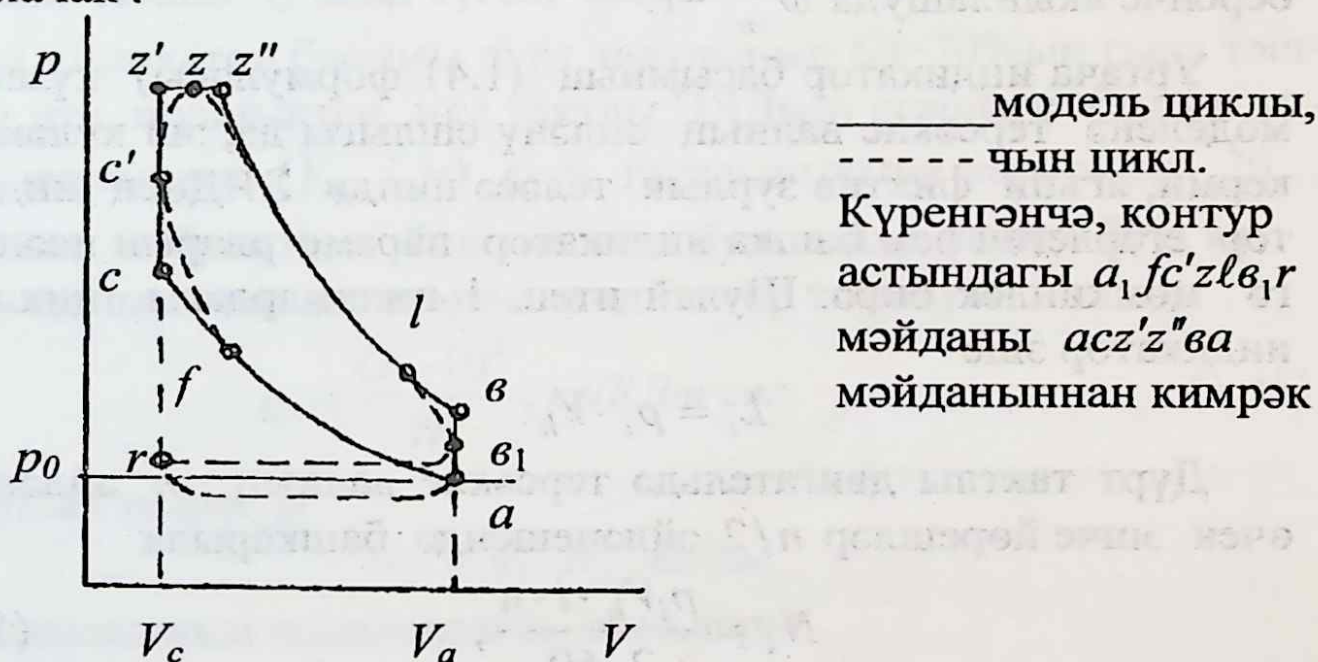
$$p_i = \frac{p_a \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (1.41)$$

p_i басымы p_a үлчәнешенә ия буларак, МПа кабул ителгән.

Бензин двигателе өчен $\rho = 1$ булганда

$$p_i = \frac{p_a \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]. \quad (1.42)$$

Әгәр циклының p - V координатларындагы модель диаграммасында чын цикл диаграммасын да китерсәк, ул түбәндәгечә булачак.



37 нче рәсем

Чын циклда жылылыкны китереп житкерү (шунлыктан басымның өстәмә күтәрелүе) f ноктасында ук башлана һәм үзгәрүчән күләм булганда дәвам итә, ә киңәюе b ноктасына житми тәмамлана, чөнки l ноктасында чыгару клапаны ачыла. Мәйданнарның бу аермасы газ бүлү фазалары һәм алдан бөркү яки кабызуы почмаклары зурлыгы белән аерылучы двигателләр өчен төрле. Беренче якынлашуда диаграмманы түгәрәкләндерү коэффициенты кулланыла

$$\varphi_i = \frac{L_{\text{чын}}}{L_{\text{мод}}} = 0,95 \pm 0,02 ;$$

ягъни

$$p_i = (0,95 \pm 0,02) p_{i\text{мод}}.$$

Чын циклынң диаграммасыннан күренгәнчә, циклынң индикатор эшеннән башка газлар алмашу эшен башкару да була. Әгәр бу эшне эшче күләмгә китереп санасак, ул вакытта насос йөрешләре басымы дип аталучы ниндидер басым килеп чыга.

$$p_{\text{н.й.}} = \frac{L_{\text{газ алмашу}}}{V_h} = \varphi_{\text{газ}} (p_r - p_a),$$

беренче якынлашуда $\varphi_{\text{газ}} = 1$.

Уртача индикатор басымның (1.41 формуласы) күзаллау моделенә терсәкле валның әйләнү ешлығы да, эш күләме дә керми, ягъни фиктив зурлык теләсә нинди ЭЯДнең индикатор егәрлеген һәм башка индикатор параметрларын исәпләргә мөмкинлек бирә. Шулай итеп, 1 цилиндрдагы циклынң индикатор эше

$$L_i = p_i \cdot V_h.$$

Дүрт тактлы двигательдә терсәкле валның n әйләнеше өчен эшче йөрешләр $n/2$ әйләнешендә башкарыла

$$N_i = \frac{p_i V_h \cdot i \cdot n}{2 \cdot 60}, \quad (1.43)$$

монда i - цилиндрлар саны.

Үлчәнеш берәмлекләре:

$$p_i [\text{МПа}] = \left[p_i \frac{H}{m^2} \cdot 10^6 \right];$$

$$V_h [л] = V_h [m^3 \cdot 10^{-3}];$$

i - үлчәмсез зурлык;

$$n [\text{әйл/мин}] = \frac{n}{60} [\text{әйл/сек}];$$

$$N_i \left[\frac{н \cdot м \cdot 10^3}{сек} \right] = N_i [KBm].$$

Егәрлекне л. с. (ат көчендә) алыр өчен аны 1,36 га тапкырларга кирәк.

Ике тактлы ЭЯДләрдә эш йөреше бер әйләнештә башкарыла. Ул вакытта ике тактлы ЭЯДнең индикатор егәрлеге

$$N_i = \frac{p_i \cdot V_h \cdot n}{60}, KBm. \quad (1.44)$$

Уйлап карасаң, дүрт тактлы ЭЯДне ике тактлыга күчәргән вакытта егәрлекнең ике тапкыр артуы көтеләдер кебек. Ләкин бу алай түгел, чөнки ике тактлы ЭЯДнең p_i уртача индикатор басымы дүрт тактлының $60 \div 70\%$ ын гына тәшкил итә, шунлыктан ике тактлы ЭЯДнең егәрлеге башка тигез шартларда (V_h, i, n) дүрт тактлыныкына караганда 20... 50% ка күбрәк һәм бик уңышлы булганнарының – 70% ка. Ягулыкның чагыштырмача индикатор тотылуы

$$g_i = \frac{G_T \cdot 10^3}{N_i}, кг/KBm \cdot сәг. \quad (1.45)$$

Ягулык тотылуы

$$G_T = g_i \cdot N_i, кг/сәг.$$

Жылылыкның исәпләнгән миқдары

$$Q_{цикл} = G_T \cdot H_u, KBm.$$

Менә хәзер: бер яктан $G_{саф.кат.} = V_h \cdot \rho_o \cdot \eta_v,$

$$\text{икенче яктан } G_{саф.кат.} = \frac{\alpha \cdot \ell_o \cdot G_T}{i \cdot n/2};$$

шулай итеп,

$$\frac{\alpha \cdot \ell_o \cdot G_T}{i \cdot n/2} = V_h \cdot \rho_o \cdot \eta_v;$$

моннан

$$G_T = \frac{V_h \cdot i \cdot n}{2} \cdot \frac{\rho_o \cdot \eta_v}{\alpha \cdot \ell_o}.$$

Циклдагы жылылык

$$Q_{\text{цикл}} = \frac{V_h \cdot i \cdot n}{2} \cdot \frac{\rho_o \eta_v}{\alpha \cdot \ell_o} \cdot H_u,$$

егэрлек

$$N_i = \frac{p_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{2 \cdot 60}.$$

Ул вакытта индикатор ф.э.к. (кпд)

$$\eta_i = \frac{N_i}{Q_{\text{цикл}}} = \frac{p_i \cdot V_h \cdot i \cdot (n/2 \cdot 60)}{V_h \cdot i \cdot (n/2 \cdot 60) \frac{\rho_o \cdot \eta_v}{\alpha \cdot \ell_o} \cdot H_u} = \frac{p_i \cdot \alpha \cdot \ell_o}{H_u \cdot \rho_o \cdot \eta_v}, \quad (1.46)$$

үлчәмсез, ә ягулыкның чагыштырмача индикатор тотылуы

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i}, \text{ кг/КВт} \cdot \text{с} \cdot \text{г}.$$

Игътибар итэргә: H_u [КДжс/кг] үлчәнешендә, әгәр дә [МДжс/кг]

үлчәнешен куллансак, ул вакытта g_i [г/КВт·с] тә

Уртача индикатор басым

$$p_i = \frac{H_u}{\alpha \cdot \ell_o} \cdot \rho_o \cdot \eta_i \cdot \eta_v. \quad (1.47)$$

- индикатор ф.э.к.ның уртача индикатор басымга йогынтысы: η_i үсү белән, ягъни жылылык куллануны яхшылап оештырганда, p_i да үсә;

- өрдөртүнөң йогынтысы: заряд тыгызлыгы ρ_o күтәрелү белән p_i да күтәрелә;

- тутыру коэффициентының йогынтысы: η_v арту белән p_i да арта;

- артык һава коэффициентының йогынтысы: формула буенча α ның кимүе белән p_i арта кебек тоела. Бу $\alpha \rightarrow 1$ гә

хэтлe дөрeс булa, $\alpha < 1$ булгaндa H_u нын кыйммэтe α гa кa-
рaгaндa тизрэк кими нэм p , артмый;

- ягулыкнын йогынтысы: төрлe углеводород ягулыклар
өчөн $\alpha = \text{const}$ булгaндa $\frac{H_u}{\alpha \cdot \ell_o}$ комплекты якынча даими
кыйммэткэ ия.

1.8. МЕХАНИК ЮГАЛТУЛАР

Газ киңэю эше (индикатор эше) пешкэк нэм шатун аша
терсэклe валга бирелэ. Эгэр дэ двигателъне тоткыч (рукоятка)
белэн кабызсак, двигателъне эйлэндереп жибэрү өчөн билгелe
бер эш башкарырга кирэк булa. Бу эш механик югалтулар эше
дип атала. Ул түбэндэгe эшлэрдэн тора:

- пешкэк нэм божраларнын цилиндр көзгесенэ ышкылу
көчөнэ каршы (сыеклык нэм ярымкоры ышкылу) эш;
- бөтен эйлэнүчe параларда сыеклык ышкылуы көчлө-
ренэ каршы эш;
- агрегат йөрткечлэренэ кирэк булган эшлэр: су, май,
ягулык насосларына, вентиляторга, генераторга нэм бүтэн
(булса) агрегатларга;
- цилиндрларда газ алмашуга кирэк булган эшлэр (на-
ваны суырып алырга, газларны этеп чыгарырга).

Димэк, терсэклe валдан алынган эш түбэндэгe аерманы
тэшкил итэ

$$L_e = L_i - L_{\text{мех.югал.}}$$

Бу эшне эффектив эш дип атыйлар.

Эффектив эшне вакытка бүлөп исэплэгэндэ, эффектив
егэрлeк тэшкил итэ

$$N_e = N_i - N_{\text{мех.югал.}}$$

Механик югалтуларны исэплэүнең ике юлы бар.

Беренчесе статистикадан чыгып механик ф.э.к. белэн
билгелэнэ

$$\eta_m = \frac{N_i - N_{\text{мех.югал.}}}{N_i} = \frac{N_e}{N_i}. \quad (1.48)$$

Хэзерге двигательлэр өчен $\eta_m = 0,75 \dots 0,83$,

моннан $N_m = N_i(1 - \eta_m)$.

Лэкин бу юл механик югалтуларга тээсир итүче факторларны тикшерүгә алып бармый.

Икенче юл — механик югалтуларны турыдан-туры исәпләү.

$$N_i = \frac{p_i V_h \cdot i \cdot n}{120}$$

формуласы белән аналогия буенча төшенчә кертелә

$$N_{\text{мех}} = \frac{p_m V_h \cdot i \cdot n}{120}, \text{ KBm}, \quad (1.49)$$

монда p_m — механик югалтуларның басымы.

Бу, әлбәттә, уртача индикатор басымга караганда тагы да зуррак фикция, лэкин бу югалтуларны исәпләү өчен инструмент. Практикадан мәгълүм булганча, бөтен механик югалтуларның яртысыннан күбрәге — цилиндр-пешкәк парында ышкылу көчләрәнә тотылган югалтулар. Чөнки цилиндр-пешкәк парындагы бу ышкылулар сыекчалы булганга күрә, ышкылу көче пешкәкнең тизлегенә пропорциональ була. Пешкәк тизлегә Одән (ӨТН һәм АТН) берникадәр максималь тизлеккә кадәр үзгәрә. Пешкәкнең уртача тизлегә дигән төшенчә кертелә $c_n, \text{ м/с}$.

Пешкәк бер әйләнеш вакытында ике күчеш кичерә — ӨТН дан АТН га кадәр һәм киресенчә. Ул $2 \cdot S$ (метр) тәшkil итә, монда S - пешкәкнең йөреше. Ул вакытта

$$c_n = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30}, \text{ м/с},$$

ягъни монда төп тээсир итүче факторлар S һәм n ачыкланды.

$$P_m = A + B \cdot c_n$$

дип фараз итэлэр.

Монда тагы ике юл бар:

- 1) насос йөрешлэренен югалтулары A һәм B коэффициентына керэлэр;
- 2) насос йөреше югалтулары аерым исәпләнә

$$P_m = P_{н.й.} + P_{ышк.}$$

Насос йөреше югалтулары

$$P_{н.й.} = P_r - P_a.$$

Югары өрдөртүлө двигательләр өчен $p_a > p_r$. Димәк, эшче жисем эш башында ук файдалы эш башкара. Өрдөртү басымы $p_k = 0,18 \dots 0,24 \text{ МПа}$ булганда, пешкәк йөрешенен уртасында кертү клапанын ябалар. Бу вакытта саф һава киңәя, эш башкара һәм суына, нәкъ менә шушы өрдөртү һавасының эчке суынуының төп максаты булып тора. Өрдөртүлө двигательне бәяләүче гадиләштерелгән исәпләүләр өчен беренче юл кулайрак (рациональрәк) була.

Күп санлы экспериментлардан чыгып табылган:

- цилиндр саны бга кадәр булган һәм $S/D > 1$ мөнәсәбәтле бензин двигательләре өчен

$$p_m = 0,049 + 0,0152 \cdot c_n;$$

һәм $S/D < 1$ булганда

$$p_m = 0,034 + 0,0113 \cdot c_n;$$

- $S/D < 1$ һәм V-8 булган бензин двигательләре өчен

$$p_m = 0,039 + 0,0132 \cdot c_n;$$

- бүленмәгән яну камералы 4 тактлы дизельләр өчен

$$p_m = 0,089 + 0,0118 \cdot c_n;$$

- өөрмә камералы дизельләр өчен

$$p_m = 0,089 + 0,0135 \cdot c_n.$$

Мәсәлән: ВАЗ - 2109 двигателе өчен - $S = 0,071 \text{ м}$, $D = 0,076 \text{ м}$
номиналь әйләнешләрдә $n = 5600 \text{ әйл/мин}$:

$$c_n = \frac{0,071 \cdot 5600}{30} = 13,25, \text{ м/с},$$

$S/D < 1$ булганлыктан

$$p_m = 0,034 + 0,0113 \cdot 13,25 = 0,184 \text{ МПа},$$

максималь момент әйләнешләрендә $n = 3000$ әйл/мин:

$$c_n = \frac{0,071 \cdot 3000}{30} = 7,1, \text{ м/с},$$

$$p_m = 0,034 + 0,0113 \cdot 7,1 = 0,114 \text{ МПа}.$$

Моннан әйләнешләрнең механик югалтуларга йогынтысы ачык күренеп тора.

1.9. ЭФФЕКТИВ КҮРСӘТКЕЧЛӘР

Уртача эффектив басым $p_e = p_i - p_m$;

механик ф.э.к.

$$\eta_m = \frac{p_i - p_m}{p_i} = \frac{p_e}{p_i};$$

эффектив ф.э.к.

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = \frac{L_e}{Q_1}; \quad (1.50)$$

эффектив егәрлек

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{120}, \text{ кВт}; \quad (1.51)$$

монда p_e – МПа, n – әйл/мин, V_h – литр.

Ягулыкның чагыштырмача эффектив тотылуы

$$g_e = \frac{3600}{H_u \eta_e} \text{ яисә } g_e = g_i / \eta_m$$

Номиналь режимнарда

18 нче таблица

двигатель төре	эффектив ф.э.к.
карбюраторлы бензин белән	0,24...0,32
инжекторлы бензин белән	0,35 кә кадәр
өрдөртүсез дизель	0,35...0,4
өрдөртүле дизель	0,45кә кадәр
газ белән	0,24...0,32

19 нче таблица

двигатель төре	эффектив чагыштырма тотылу, $g / KBm \cdot cag$
карбюраторлы бензин белән	270...325
инжекторлы бензин белән	220...250
аерылмаган яну камерасы белән өрдөртүсез дизель	210...245
өрдөртүле дизель	200 гә кадәр
өөрмә камералы дизель	220...270

1.10. Цилиндрның төп үлчәмнәре

Цилиндрның диаметры D һәм пешкәкнең йөреше S цилиндрның төп үлчәмнәре булып тора. S/D мөнәсәбәте характерлы параметр. $S/D > 1$ булса, двигатель озын йөрешле дип атала. $S/D < 1$ булса, кыска йөрешле, $S/D = 1$ булса, “квадрат” дип атала.

Хәзерге двигательләрнең кайбер статистикасы

20 нче таблица

Двигатель	$S, мм$	$D, мм$	S / D
ВАЗ-1111	71	76	0,93
МеМЗ	67	72	0,93
Ниссан	63	71	0,89
УЗАМ-3317	75	85	0,88
Тойота	85,5	81	1,06
ВАЗ- 21203	94	82	1,15
ЗМЗ	92	92	1,0
КамАЗ	120	120	1,0

S/D үзгәрешләренең диапазоны 0,8 дән 1,2 гә кадәр.

Кыска йөрешле двигательгә күчкәндә (эшче күләмне үзгәртмәгән очракта), пешкәкнең уртача тизлегә һәм механик югалтуларның басымы түбәнәя, жылы бирү күләме чагыштырмача кими. Двигательнең биеклегә кими, ә озынлыгы үсә. Моннан тыш, басым үзгәрешсез булганда, кыска йөрешле двигательләрнең газ басымы арта.

Төп үлчэмнэрне исәпләү алдыннан $K=S/D$ зурлыгын бирергә кирәк. Биремдә түбәндәгеләр бирелергә тиеш: бирелгән номиналь әйләнәшләр вакытындагы бирелгән егәрлек, цилиндрлар саны.

$$V_h = \frac{120 N_e}{P_e n}, \text{ л} \quad \text{һәм} \quad V_h = \frac{n D^2}{4} S = \frac{K \pi D^3}{4}, \text{ дм}^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 V_h}{\pi K}}.$$

Мәсәлән, $n_{\text{ном.}} = 5500$ әйл/мин булганда $N_e = 39 \text{ кВт}$ була.

$$V_h = \frac{120 \cdot 39}{4 \cdot 0,78 \cdot 5500} = 0,3 \text{ л},$$

$K=0,9$ булсын.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 0,9}} = 0,75 \text{ дм} = 75 \text{ мм}; \quad S = 67 \text{ мм}.$$

Бу вакытта пешкәкнең уртача тизлеген исәпләп тикшерергә кирәк

$$c_n = \frac{S \cdot n}{30}. \quad (1.52)$$

Ул түбәндәгедән югары булмаска тиеш:

- жиңел автомобиль двигателе – 15 м/с;
- йөк автомобиль өчен бензин двигателе – 12 м/с;
- автомобиль өчен өрдертүсез дизель - 12 м/с;
- автомобиль өчен өртертүле дизель – 10 м/с.

Пешкәкнең уртача тизлегенң артуы түбәндәге нәтижәләргә китерә: двигательнең ресурсы кыскара, механик югалтулар арта һәм механик ф.э.к. кими, жылылык киеренкелеге арта.

Әгәр пешкәкнең исәпләнгән тизлеге өстә күрсәтелгән кыйммәттән артса, цилиндрларның санын арттырырга кирәк. Автомобиль двигательләрен төзү практикасында түбәндәге компоновкалар урын алып тора: Р-2, Р-3, Р-4, Р-5, Р-6 һәм V-4, V-6, V-8, V-10, V-12. Цилиндрлар саны 16 га кадәр булган конструкцияләр дә очрый, ләкин алар бик сирәк.

1.11. ДВИГАТЕЛЬНЕН ЖЫЛЫЛЫК БАЛАНСЫ

Яну вакытында чыккан жылылык түбэндэгечә тотыла:

- терсәкле валдан алынган фйдалы эш,
- суыту системасына тапшыру,
- янып чыккан газлар белән китү,
- һәм башка исәпкә алынмаган жылылык югалтулары.

$$Q_1 = Q_e + Q_{\text{суыт}} + Q_r + Q_{\text{башкалар}} \quad (1.53)$$

1 секундка китерелгән жылылык

$$Q_1 = \frac{\chi H_u G_T}{3600},$$

монда $\chi = \frac{H_u - \Delta H_u}{H_u}$, $H_u - \frac{\text{мДж}}{\text{кг}}$, $G_T - \text{кг/сәг}$, 3600 сек/сәг ,

дизель өчен $\chi = 1$.

Мәсәлән, ягулык - бензин $H_u = 44000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$,

$\alpha = 0,9$; $\chi = 0,87$; $G_T = 10 \text{ кг/сәг}$ өчен:

$$Q_1 = \frac{0,87 \cdot 44000 \cdot 10}{3600} = 102,7 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$$

1) Файдалы эшкә эквивалент жылылык

$$Q_e = N_e \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$$

Мәсәлән: $N_e = 36 \text{ кВт}$ булса, $Q_e = 36 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$

2) Суыту системасына тапшырылган жылылык

$$Q_{\text{суыт}} = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m \cdot \frac{H_u - \Delta H_u}{\alpha \cdot H_u}, \frac{\text{Дж}}{\text{с}},$$

монда дизель өчен - $\frac{H_u - \Delta H_u}{\alpha \cdot H_u} = \frac{1}{\alpha}$, чөнки $\Delta H_u = 0$;

- $c = 0,45 \dots 0,53$, гадәттә $c = 0,5$ дип алына, (дизель өчен - $0,48$),

- i - цилиндрлар саны,

- D - цилиндрның диаметры, см,

- n - терсәкле валның әйләнү ешлығы, *әйл/мин*,
- H_u - ягулыкның жылылык хасил итү сәләте,
- α - артык һава коэффициенты,
- $m = 0,62 \pm 0,03$, аз әйләнешләрдә $m = 0,6$, номиналь булганда $m = 0,65$ (дизельләр өчен $m = 0,67$)

$$Q_{\text{суыт.}} = 0,5 \cdot i \cdot D^{2,3} \cdot n^{0,65} \frac{\chi}{\alpha} \cdot \frac{Дж}{с}.$$

Мәсәлән, $D=76$ мм; $n=2600$ әйл/мин; $\chi=0,87$; $\alpha=0,9$; $i=4$ булсын, ди. Ул вакытта

$$Q_{\text{суыт.}} = 0,5 \cdot 4 \cdot 7,6^{2,3} \cdot 2600^{0,65} \frac{0,87}{0,9} = 34034 \frac{Дж}{с} = 34 \frac{кДж}{с}.$$

3) Янып чыккан газлар белән алып киткән жылылык

$$Q_r = \frac{G_T}{3600} [M_2(c_v + 8,314)t_r - M_1(c_v + 8,314)t_a].$$

Мәсәлән, $G_T=10$ кг/сәг, $M_2=0,48$ КМоль/кг,

$t_r = 600^\circ C$ булганда $c_v = 24,2$ КДж / КМоль · град,

$t_a = 20^\circ C$ булганда, $c_v = 20,7$ КДж / КМоль · град,

$M_1=0,456$ КМоль/кг.

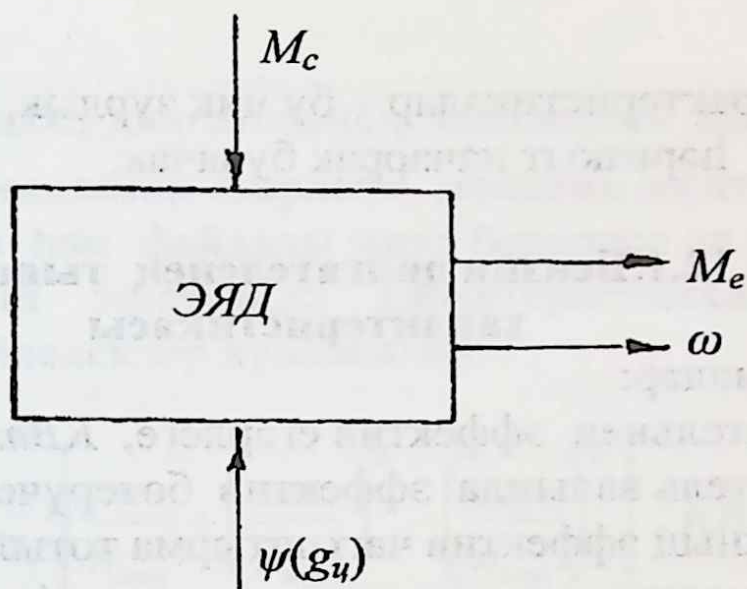
$$Q_r = \frac{10}{3600} [0,48(24,2 + 8,314)600 - 0,456(20,7 + 8,314)20] = 25 \frac{кДж}{с}$$

4) Башка исәпкә алынмаган жылылык югалтулары

$$Q_{\text{башкалар}} = Q_1 - Q_e - Q_{\text{суыт}} - Q_r = 102,7 - 36 - 34 - 25 = 7,7 \text{ КДж/с.}$$

1.12. ЭЧКЕ ЯНУЛЫ ДВИГАТЕЛЬНЕН ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРЫ

ЭЯД-не түбәндәге керүче параметрлар: (M_c - каршылык моменты, Ψ -ягулыкны циклда бирүне билгеләүче йөртү органының торышы – ягъни g_u - ягулыкның двигательгә бер циклдагы бирелеше) һәм чыгучы параметрлар: (M_e -бөтерүче эффектив момент, ω -терсәкле валның әйләнү ешлығы) белән идарә итүче объект итеп куз алдына китерергә мөмкин.



38 нче рәсем

Гадиләштерү кертәләр:

Идарә итү органының беркетелгән торышында һәм көйләүле үзгәрүчән тормоз моменты белән двигатель параметрларының валның әйләнү ешлыгы белән бәйләнешләрен табалар.

$$N_e = N_e(\omega); M_e = M_e(\omega); G_T = G_T(\omega); g_e = g_e(\omega).$$

Һәм, тикшерү максатында, башка параметрлар өчен дә табыла:

$$\alpha = \alpha(\omega); \eta_v = \eta_v(\omega); Q_{\text{суыт}} = Q_{\text{суыт}}(\omega) \text{ һ.б.}$$

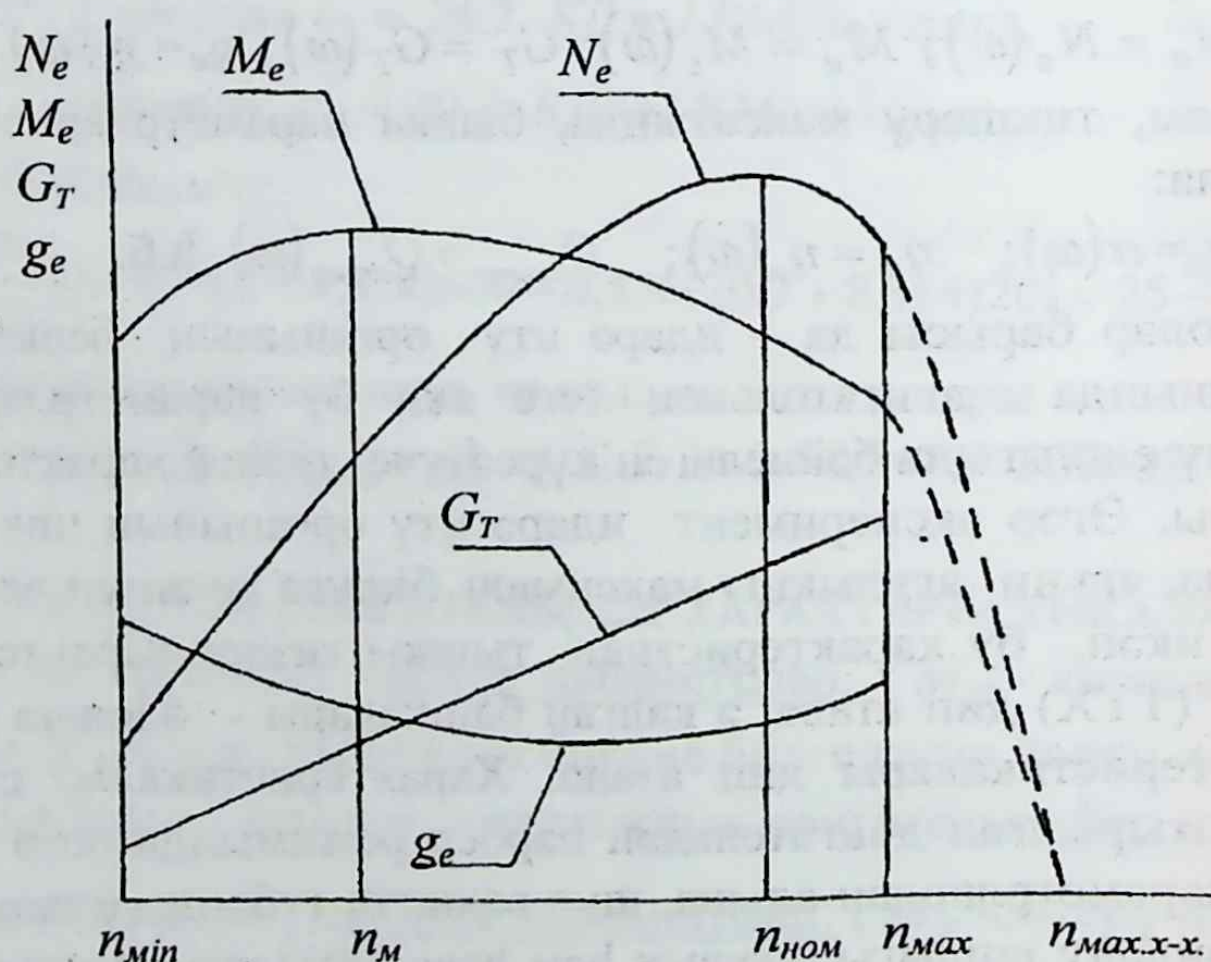
Болар барысы да – идарә итү органының беркетелгән торышында двигательнең теге яки бу параметрларының әйләнү ешлыгына бәйләлеген күрсәтүче тизлек характеристикалары. Әгәр эксперимент идарә итү органының чик торышында, ягъни ягулыкны максималь бирүгә юнәлтәп алып барыла икән, бу характеристика тышкы тизлек характеристикасы (ТТХ) дип атала, ә калган башкалары – өлешчә тизлек характеристикалары дип атала. Характеристикалар стенда урнаштырылган двигательдән һәрбер режимында өстә каралган параметрлардан алына, шул вакытта түбәндәге параметрлар: әйләнү ешлыгы, ягулык һәм һава тотылуы, суытучы сыеклык температурасы, картер төбөндәге май температурасы үзгәрешсез булырга тиеш. Аңлашылганча, транспорттагы двигательнең эш шартлары стендагысыннан аерыла. Стендтан

алынган характеристикалар – бу чик зурлык, транспорт чараларында ул һәрвакыт начаррак булачак.

1.12.1. Бензин двигателенең тышкы тизлек характеристикасы

Билгеләмәләр:

- N_e - двигательнең эффектив егәрлеге, $KВт$;
- M_e - двигатель валында эффектив бөтерүче момент, $Н·м$;
- g_e - ягулыкның эффектив чагыштырма тотылуы, $кг/КВт·сәг$;
- G_T - бер сәгатә яндырылган ягулык, $кг/сәг$;
- n_{min} - йөкләнеш булганда двигательнең минималь тотрыклы әйләнешләре, $әйл/мин$;
- n_m - двигатель иң зур момент биргән әйләнешләре;
- $n_{ном}$ - двигатель иң зур егәрлек биргән әйләнешләре;
- n_{max} - двигательнең иң зур эксплуатацион әйләнешләре;



39 нчы рәсем

$n_{max.x-x}$ - йөкләмәсез двигательнең максималь әйләнешләре.

Бу очракта индикатор егәрлеге механик югалтулар егәрлегенә тигез була һәм файдалы эшкә бернәрсә дә калмый.

Курс проектын эшлэгәндә характеристикаларны төзү өчен эмперик бәйлелекләр кулланылар:

$$N_e = N_{e\text{ ном}} \cdot \left[\frac{n}{n_{\text{ном}}} + \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^3 \right], \text{ KBm}, \quad (1.54)$$

$$g_e = g_{e\text{ ном}} \cdot \left[1,2 - 1,2 \frac{n}{n_{\text{ном}}} + \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2 \right], \text{ кг/KBm} \cdot \text{с} \cdot \text{г}. \quad (1.55)$$

Моментның агымдагы кыйммәте шулай ук әйләнешләр функциясе кебек исәпләнә

$$M_e = 9554 \frac{N_e}{n}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (1.56)$$

Ягулыкның сәгәтлек тотылуы

$$G_T = g_e \cdot N_e, \text{ кг/с} \cdot \text{г}. \quad (1.57)$$

Монда параметрлары “e” билгеләре белән булса, параметрларның агымдагы кыйммәте була, ә “e_{ном}” билгесе булса, номиналь кыйммәттә була.

Максималь бөтерүче моментны номиналь режимда булган моментка бүлгәндә бөтерүче моментның запас коэффициенты чыга һәм аны ярашучанлык коэффициенты дип атыйлар

$$K_n = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}.$$

Бу чагыштырманың кыйммәте никадәр югары булса, тапшыру тартмасындагы баскычлар шулкадәр азрак була ала.

Максималь бөтерүче моментында булган әйләнү ешлығын номиналь режимда булган әйләнү ешлығына бүлгәндә тизлек коэффициенты чыга

$$K_c = \frac{n_m}{n_{ном}}$$

Бу чагыштырма никадәр кечерәк булса, тапшыруны шулкадәр сирәгрәк күчерергә мөмкин.

K_c га кире зурлык әйләнү ешлығына карата запас коэффициенты була

$$K_\omega = \frac{1}{K_c} = \frac{n_{ном}}{n_m}$$

һәм ул двигательнең тотрыклы эшенең диапазонын характерлый.

1.12.2. Дизельнең тышкы тизлек характеристикасы

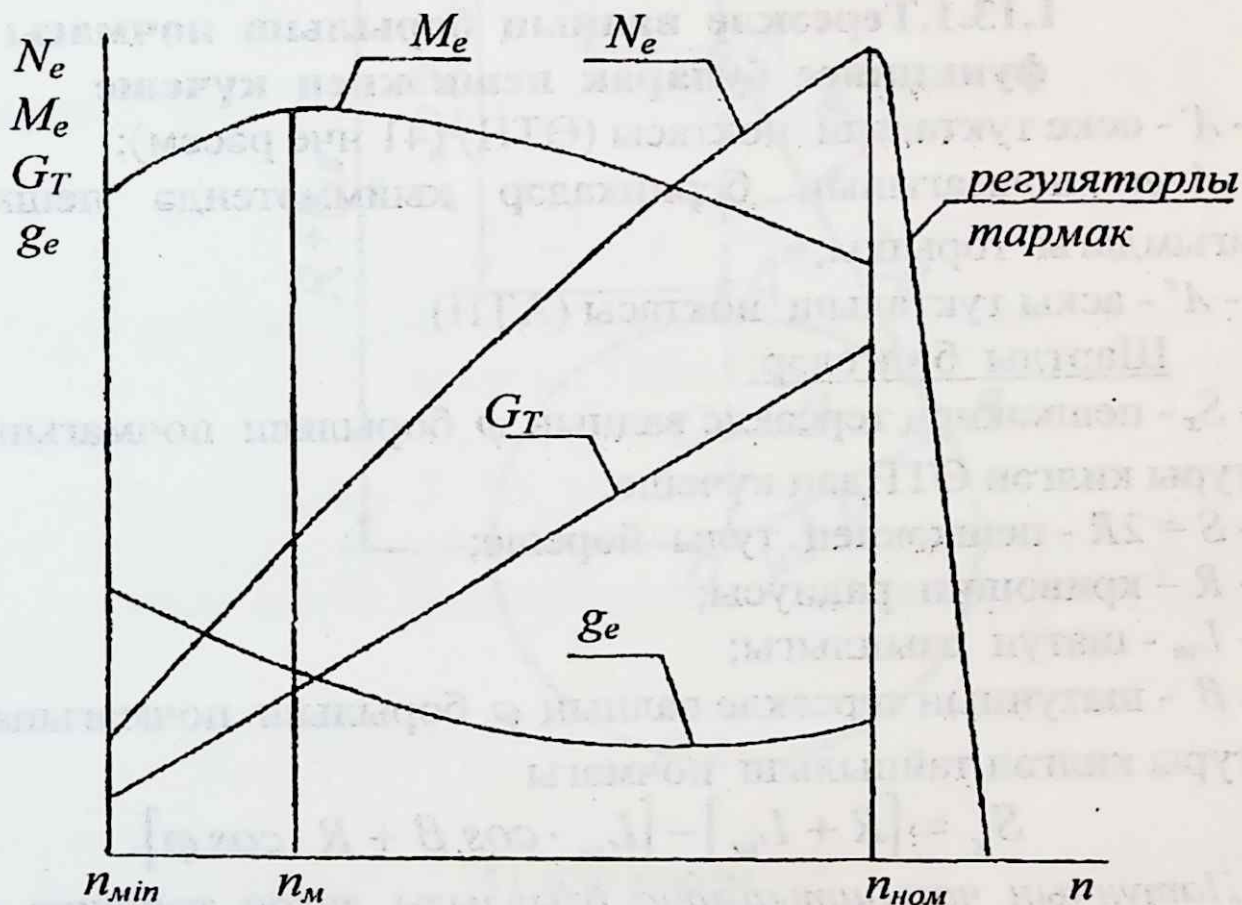
Билгеләнеш бензин двигателенең ТТХсы өчен кебек үк.

Аермасы: $N_{e\max}$ һәм бу егәрлеккә туры килүче әйләнешләр двигатель төтенләнмәслек итеп билгеләнә. Бу әйләнешләрне конструкцион тәмин итү өчен әйләнү ешлығы регуляторы урнаштырыла. Ул вакытта буш йөрешнең максималь әйләнешләре, регулятор характеристикасына карап, $n_{\max} = n_{ном} + (50...100)$ әйл/мин булчак.

Эффектив егәрлекнең һәм ягулыкның эффектив чагыштырма тотылуының дизель двигателе өчен эмперик бәйләлекләре:

$$N_e = N_{e\text{ ном}} \cdot \left[0,87 \frac{n}{n_{ном}} + 1,13 \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^3 \right], \text{ KBт}, (1.58)$$

$$g_e = g_{e\text{ ном}} \cdot \left[1,55 - 1,55 \frac{n}{n_{ном}} + \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^2 \right], \text{ кг/KBт·сәг}, (1.59)$$



40 нчы рәсем

Ярашучанлык коэффициенты һәм тизлек коэффициенты бензин двигателендәге кебек үк. Әйтергә кирәк, дизельдә K_n бензин двигателенә караганда кимрәк:

$$K_{n \text{ бенз.}} = 1,15 \dots 1,25; \quad K_{n \text{ диз.}} = 1,05 \dots 1,15;$$

ә тизлек коэффициенты зуррак:

$$K_{c \text{ бенз.}} = 0,4 \dots 0,5; \quad K_{c \text{ диз.}} = 0,5 \dots 0,65.$$

Моннан аңлашылганча, дизель двигательле автомобильнең тапшыру тартмасында баскычлар бензин двигателенә караганда 1...2 гә күбрәк, ә тапшыруларны күчерү — ешрак булырга тиеш.

1.13. КШМНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ

1.13.1. Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең күчеше

- A' - өске тукталыш ноктасы (ӨТН) (41 нче рәсем);
- $A-\varphi$ почмагының берникадәр кыйммәтендә пешкәкнең ағымдагы торышы;
- A'' - аскы тукталыш ноктасы (АТН).

Шартлы билгеләр:

- S_x - пешкәкнең терсәкле валның φ борылыш почмагына туры килгән ӨТНдан күчеше;
- $S = 2R$ - пешкәкнең тулы йөреше;
- R - кривошип радиусы;
- $L_{ш}$ - шатун озынлыгы;
- β - шатунның терсәкле валның φ борылыш почмагына туры килгән тайпылыш почмагы

$$S_x = [R + L_{ш}] - [L_{ш} \cdot \cos \beta + R \cdot \cos \varphi].$$

Шатунның чагыштырмача озынлыгы дигән төшенчә кертелә: $\lambda = \frac{R}{L_{ш}}$ (кривошип радиусының шатун озынлыгы

мөнәсәбәте). Хәзерге заман автомобиль двигательләре өчен $\lambda = 0,24 \dots 0,31$.

- $\lambda = 0,24$ булганда - озын шатун, тайпылыш β минималь;
- $\lambda = 0,31$ булганда - кыска шатун, тайпылыш β максималь.

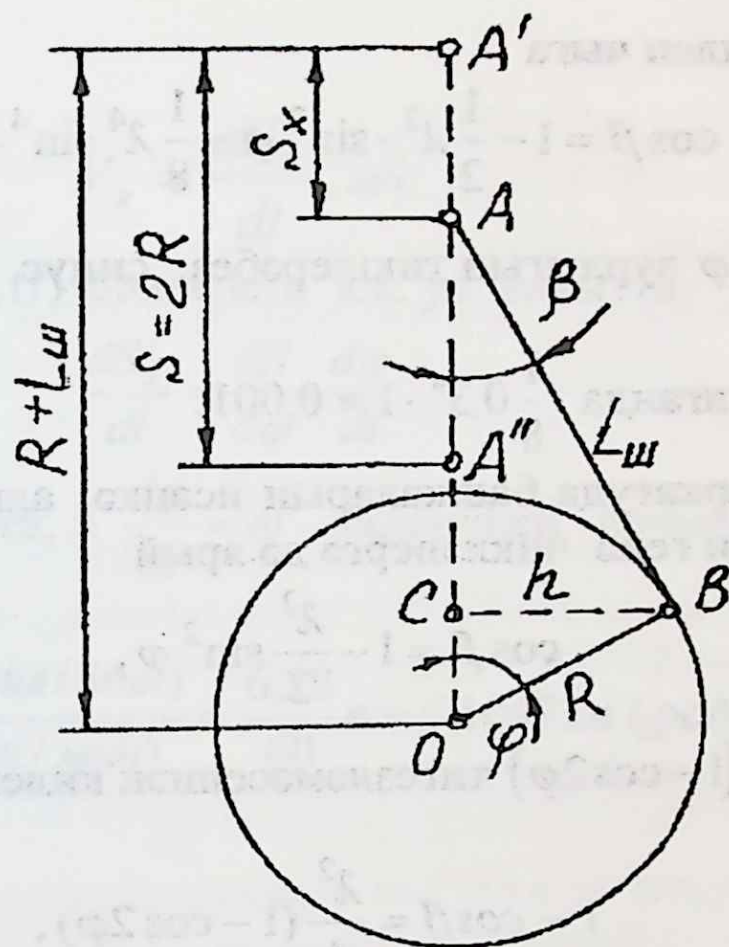
$$S_x = R \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \frac{1}{\lambda} \cos \beta - \cos \varphi \right],$$

үзгәртүләрдән соң

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right],$$

килеп чыкты

$$S_x = S_x(\beta, \varphi),$$



41 нче рәсем

ә безгә бары тик

$$S_x = S_x(\varphi) \text{ кирәк.}$$

АВО өчпочмагында биеклеке ике өчпочмакка: АВС һәм ОВС өчпочмакларына карый, ягъни

$$h = L_{ш} \cdot \sin \beta = R \cdot \sin \varphi,$$

моннан

$$\sin \beta = \frac{R}{L_{ш}} \sin \varphi = \lambda \cdot \sin \varphi,$$

$\cos \beta$ функциясен рәткә таркаталар

$$\cos \beta = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \beta - \frac{1}{8} \sin^4 \beta - \dots$$

Һәм алыштыралар $\sin \beta = \lambda \cdot \sin \varphi,$

шуннан килеп чыга

$$\cos \beta = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi - \frac{1}{8} \lambda^4 \sin^4 \varphi \dots,$$

$\frac{1}{8} \lambda^4 \sin^4 \varphi$ зурлыгын тикшерэбиз: синус 1дэн зур түгел,

$$\lambda = 0,3 \text{ булганда } \frac{1}{8} 0,3^4 \cdot 1 \approx 0,001.$$

Димэк, таркатуда башкаларын исәпкә алмыйча беренче ике буын белән генә чикләнәргә дә ярый

$$\cos \beta = 1 - \frac{\lambda^2}{2} \sin^2 \varphi,$$

$\sin^2 \varphi = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\varphi)$ тигезләмәсеннән килеп чыга

$$1 - \cos \beta = \frac{\lambda^2}{4} (1 - \cos 2\varphi),$$

$$\text{иң ахырда } S_x = R[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi)]. \quad (1.60)$$

Шәхси компьютер булганда терсәкле валның борылыш почмагының һәр 1 градус саен пешкәкнең күчешен исәпләргә мөмкин.

Пешкәкнең күчешен беренче

$$S'_x = R(1 - \cos \varphi)$$

һәм икенче

$$S''_x = R \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi)$$

тәртип күчешләренең суммасы итеп формаль рәвештә карарга мөмкин.

1.13.2. Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең тизлегә

Күчешнең вакыт буенча чыгарылмасы мизгел тизлегә була

$$V_x = \frac{dS_x}{dt}, \text{ м/с}.$$

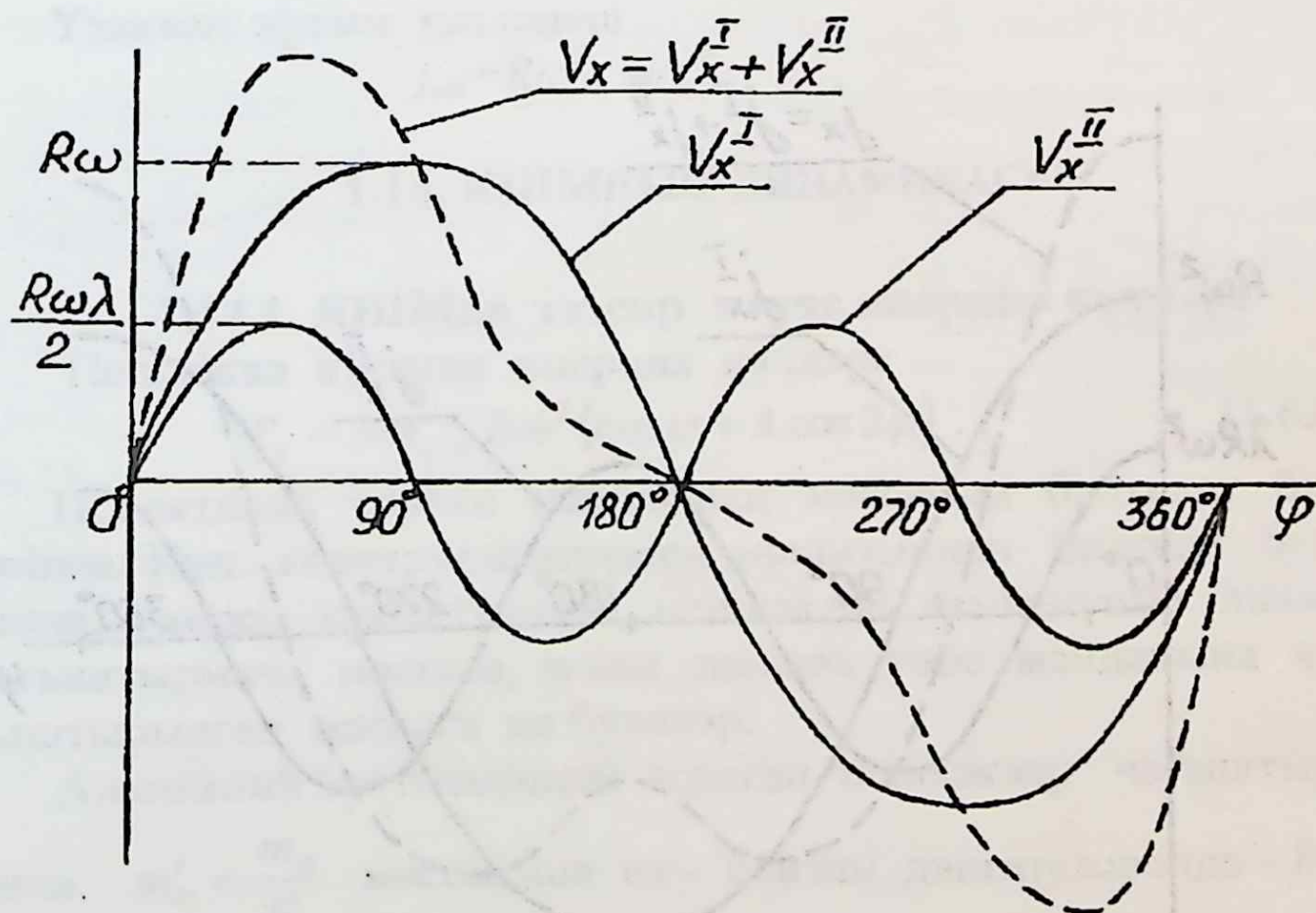
Ләкин $S_x = S_x(t)$ бәйлелеге юк, ул вакытта

$$\frac{dS_x}{dt} = \frac{dS}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

төшенчәсе кертәбез, ә $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$ - әйләнүнең почмакча ешлыгы (рад/с),

$$\omega = \frac{2\pi n (\text{әйл/мин})}{60 (\text{сек/мин})} = \frac{6,28}{60} n = 0,10472n (\text{рад/с}),$$

ул вакытта



42 нче рәсем

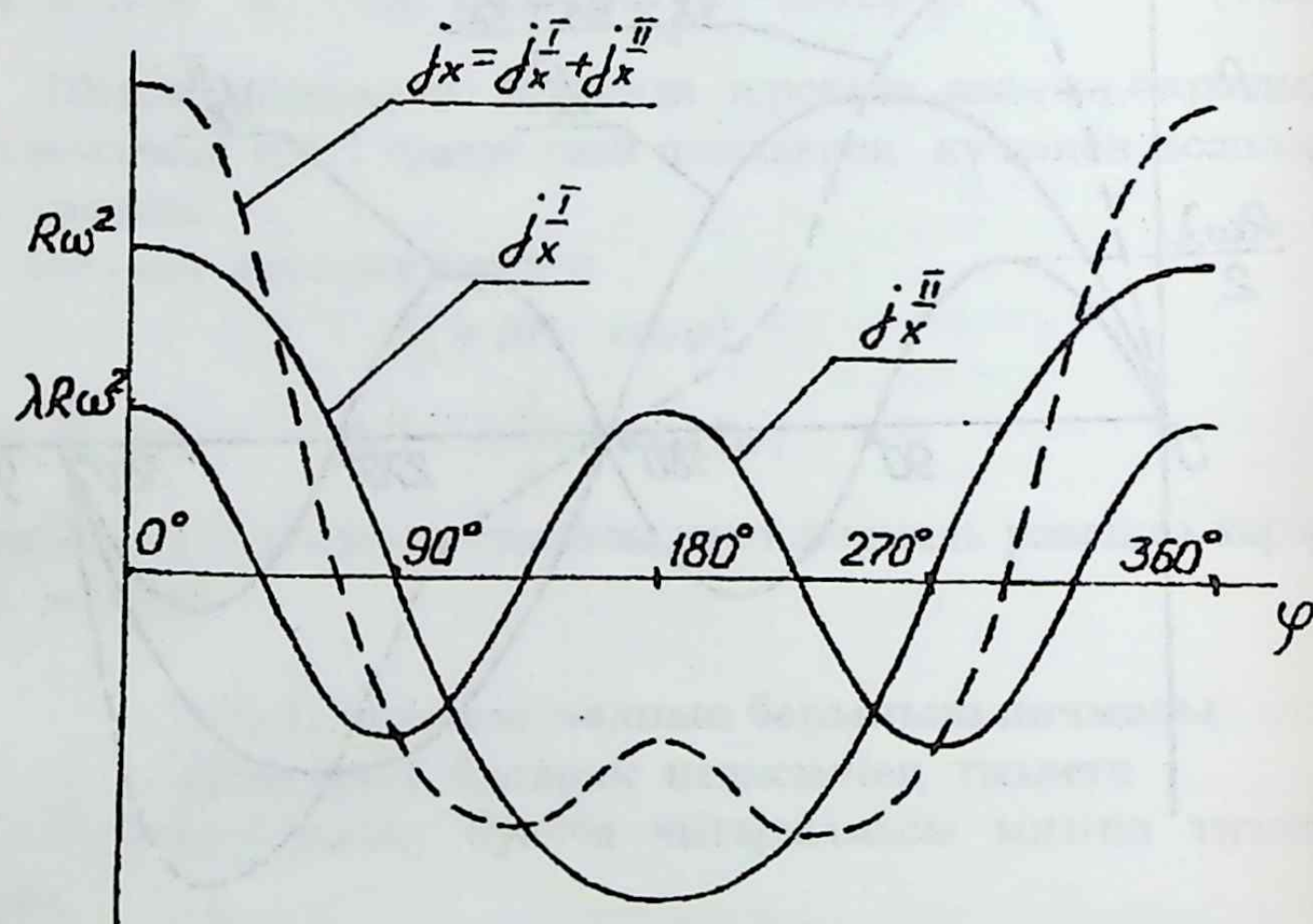
$$V_x = \frac{dS_x}{dt} = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right), \quad (1.61)$$

ягъни $V_x = V_x(\varphi)$ бэйлелеге барлыкка килде, монда R , $L_{ин}$ һәм n үзгәрми. Күчеш белән аналогия буенча:

$$V_x = V_x^I + V_x^{II}, \quad V_x^I = R\omega \sin \varphi, \quad V_x^{II} = \frac{R}{2} \omega \lambda \sin 2\varphi.$$

Беренче тәртип тизлеге - ул 360° периодлы гармоник функция, ә икенче тәртип тизлеге өчен 180° . V_x^I терсәкле валның борылу почмагы $\varphi = 90^\circ$ булганда максимумга ирешә, V_x^{II} максимумга $\varphi = 45^\circ$ булганда ирешә. Күренгәнчә, $V_x = V_x(\varphi)$ өчен максимум $\varphi > 45^\circ$ һәм $\varphi < 90^\circ$ аралыгында ирешелә, ягъни иң зур тизлек пешкәк йөрешенен югары өлешендә ирешелә.

1.13.3 Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең тизләнеше



43 нче рәсем

$$j_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{dV_x}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi). \quad (1.62)$$

Беренче тәртип тизләнеше

$$j_x^I = R\omega^2 \cos \varphi,$$

икенче тәртип тизләнеше

$$j_x^{II} = \lambda R\omega^2 \cos 2\varphi.$$

Тизләнеш иң зур кыйммәткә ΘH да ирешә.

1.13.4. Терсәкле валның шатун муенчасының тизлегә

Хәрәкәт әйләнмәле почмакча тизлек

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \text{ рад/с},$$

әйләнмәле хәрәкәт тизлегә

$$V = R\omega, \text{ м/с},$$

Үзәктән кугыч тизләнеш

$$j_{\text{әйл}} = R\omega^2, \text{ м/с}^2.$$

1.14. КШМНЫҢ ДИНАМИКАСЫ

1.14.1. КШМда тәэсир итүче инерция көчләре

Пешкәккә куелган инерция көчләре

$$P_j = -m_{\kappa-a} R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi). \quad (1.63)$$

Проектлана торган пешкәкнең массасын билгеләү бик мөһим. Күп конструкцияләрнең анализыннан билгеле булганча, дөрес проектанган пешкәкләр азмы-күпме даими чагыштырмача массага, ягъни пешкәк төбе мәйданына чагыштырылган массага ия булалар.

Алюминий эретмәсеннән ясалган пешкәкләр чагыштыр-

мача $m'_n = \frac{m_n}{F_n}$ массасына ия - бензин двигателәрендә - 80

-150 кг/м², дизельләрдә - 150-300 кг/м². Пешкәк группасындагы цилиндрның геометрик үлчәмнәре булган очракта

проектлана торган пешкәкнең бармакчалары һәм божралары белән массасын бәйләргә мөмкин.

Мисал өчен:

- бензин двигательләрендә $m_n = 100 \cdot F_{\text{пешк.}}$, $D = 79 \text{ мм}$,
 $F_{\text{пешк.}} = 4900 \text{ мм}^2 = 0,0049 \text{ м}^2$, $m_n = 100 \cdot 0,0049 = 0,49 \text{ кг}$;
- дизель двигательләрендә $m_n = 220 \cdot F_{\text{пешк.}}$, $D = 120 \text{ мм}$,
 $F_{\text{пешк.}} = 11300 \text{ мм}^2 = 0,0113 \text{ м}^2$, $m_n = 220 \cdot 0,0113 = 2,49 \text{ кг}$.

Шатунның массасы шулай ук чагыштырма масса буенча исәпләнә $m_{\text{ш}} = m'_{\text{ш}} \cdot F_{\text{пешк.}}$;

- бензин двигательләрендә $m'_{\text{ш}} = 150 \pm 50 \text{ кг} / \text{м}^2$,
- дизель двигательләрендә $m'_{\text{ш}} = 300 \pm 50 \text{ кг} / \text{м}^2$.

Мисал өчен:

$$D = 79 \text{ мм}, F_{\text{пешк.}} = 0,0049 \text{ м}^2, m_{\text{ш}} = 150 \cdot 0,0049 = 0,735 \text{ кг};$$

$$D = 120 \text{ мм}; F_{\text{пешк.}} = 0,0113 \text{ м}^2; m_{\text{ш}} = 300 \cdot 0,0113 = 3,39 \text{ кг}.$$

Исәпләүләрне гадиләштерү өчен шатун массасының $\frac{1}{4}$ өлеше кайтма-алга бара торган хәрәкәтләр ясый дип фараз ителәр һәм массаның бу өлешен пешкәк бармакчасының күчәренә китерәләр.

Шулай итеп, бармакча күчәренә куелган инерция көчләре

$$P_j = -\left(m_n + \frac{1}{4}m_{\text{ш}}\right)R\omega^2(\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi), \quad (1.64)$$

I нче тәртип инерция көчләре

$$P_j^I = -(m_n + \frac{1}{4}m_{\text{ш}}) \cdot R\omega^2 \cos \varphi$$

360° периодлы була, II нче тәртип инерция көчләре

$$P_j^{II} = -(m_n + \frac{1}{4}m_{\text{ш}}) \cdot R\omega^2 \lambda \cos 2\varphi$$

180° периодлы була.

1.14.2. Пешкәккә тәэсир итүче көчләр

Пешкәк өстендәге газ көче

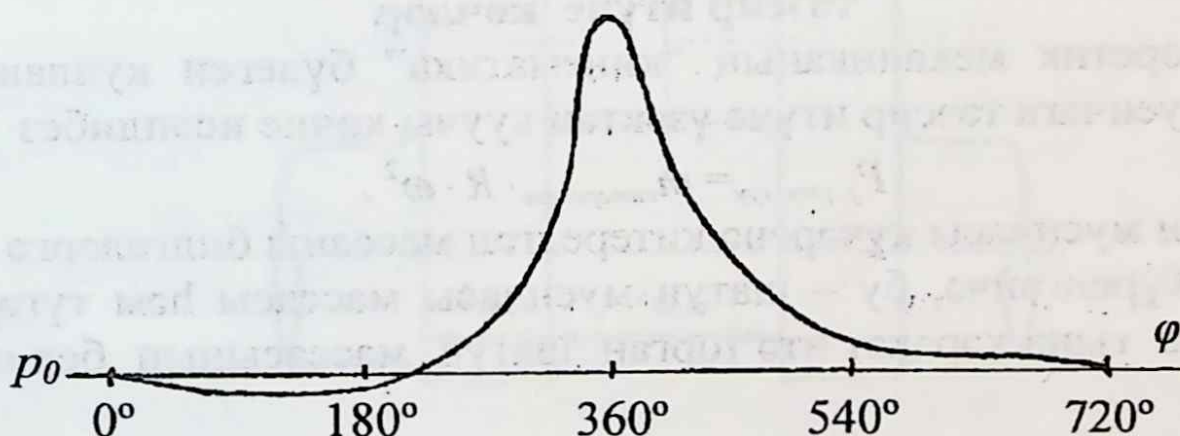
$$P_{газ} = p_{газ} \cdot F_{пешк}$$

$p_{газ} = p(\varphi)$ - индикатор диаграммасы буенча үзгәрә.

44 нче рәсемнән күренгәнчә, диаграмманың бер өлешендә басым атмосфера басымыннан азрак (кертү процессы), ә диаграмманың башка өлешендә – атмосфераныкыннан югарырак. Цилиндр-пешкәк группасы чыдамлыгын билгеләү өчен газ көченең ӨТН янындагы иң зур кыйммәтен исәпкә алу да җитә

$$P_{газ\ max} = p_{газ\ max} \cdot F_{пешк}$$

Бензин двигателенең җылылык исәпләвеннән чыгып



44 нче рәсем

$$P_z\text{ җылы. исәп.} = \lambda p_c.$$

Ләкин, практика күрсәткәнчә, пешкәккә бирелә торган басымның чын кыйммәте

$$P_z\text{ чыдам. исәп.} = 0,85 \lambda p_c,$$

дизель өчен

$$P_z\text{ чыдам. исәп.} = P_z\text{ җылы. исәп.}$$

чөнки p_z зурлыгы исәпләүләр вакытында бирелә.

Ул вакытта ӨТН янында пешкәккә тәэсир иткән көч

$$P_n = P_{\text{газ}} + P_j =$$

$$P_{z \text{ чыдам. исэн.}} \cdot F_{\text{пешк}} - (m_n + \frac{1}{4} m_{\text{ш}}) R \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi),$$

$\varphi = 360^\circ$ ка тигез булганда $\cos 360^\circ = \cos 0^\circ = 1$ һәм $\cos 2\varphi = 1$.
Пешкәккә куелган көчнөң иң зур кыйммәте

$$P_{n \text{ max}} = P_{z \text{ чыдам. исэн.}} \cdot F_{\text{пешк}} - (m_n + \frac{1}{4} m_{\text{ш}}) R \omega^2 (1 + \lambda).$$

$P_{n \text{ max}}$ кыйммәте буенча:

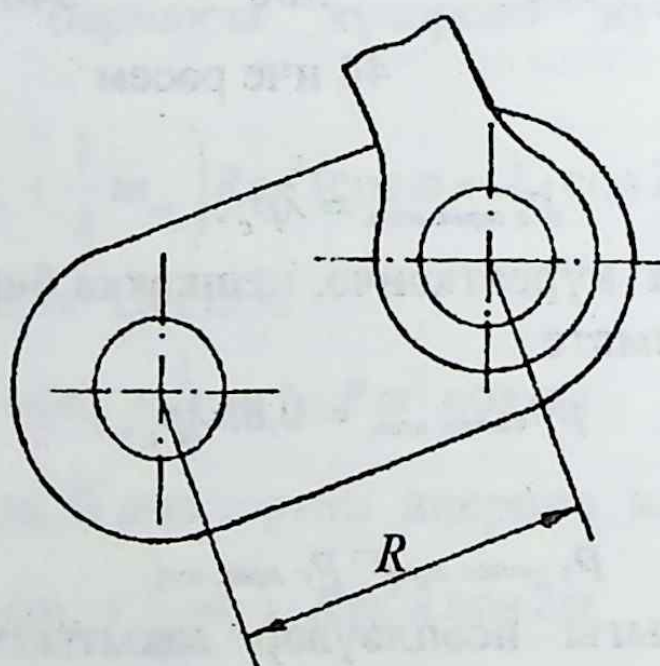
- пешкәк төбе,
- пешкәк бармакчасы,
- шатунның өске головки,
- йөзүче бармакчаның втулкасы исәплиләр.

1.14.3. Терсәкле валның муенчаларына тәэсир итүче көчләр

Теоретик механиканың “кинематика” бүлеген кулланып,
төп муенчага тәэсир итүче үзәктән куучы көчне исәплибез

$$P_{j \text{ үзәк. куу}} = m_{\text{китерелгән}} \cdot R \cdot \omega^2.$$

Шатун муенчасы күчәрәнә китерелгән массаны билгеләргә ки-
рәк. Күренгәнчә, бу – шатун муенчасы массасы һәм түгәрәк
буенча гына хәрәкәт итә торган шатун массасының бер өле-
ше.



45 нчы рәсем

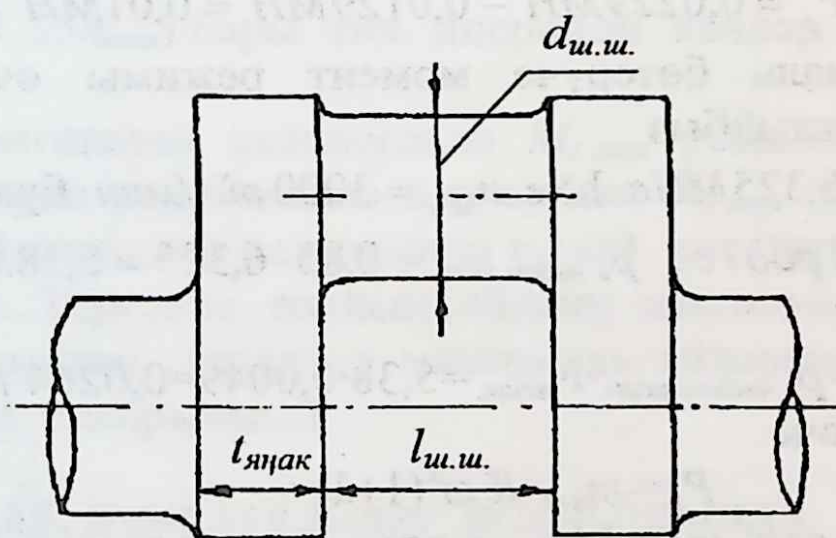
$$m_{\text{китерелгән}} = m_{\text{шат. әйл.}} + m_{\text{ш.ш.}}$$

$$m_{\text{шат. әйл.}} \cong \frac{3}{4} m_{\text{ш}}, \quad m_{\text{ш.ш.}} = \frac{\pi d_{\text{ш.ш.}}^2}{4} \cdot (l_{\text{ш.ш.}} + 2t_{\text{яңак}}) \cdot \rho,$$

монда ρ - терсәкле вал материалының тыгызлыгы, кг/м^3 .

Шуны да истә тотарга кирәк, хәзерге двигательләрдә шатун муенчасы күчәренә куелган үзәктән куучы көчне тигезләү өчен каршы авырлык та бар. Каршы авырлыктар төп муенчаны бушаталар, ләкин терсәкле валның яңакларын бушатмыйлар.

Пешкәк ӨТНда булганда шатун муенчасына тәэсир итүче көч



46 нче рәсем

$$P_{\text{ш.ш.}} = P_{\text{газ}} - (m_n + \frac{1}{4} m_{\text{ш}}) R \omega^2 (1 + \lambda) - \frac{3}{4} m_{\text{ш}} \cdot R \omega^2. \quad (1.65)$$

Әгәр терсәкле вал каршы авырлыктар белән икән, төп муенчага тапшырыла торган көч

$$P_{\text{к.ш.}} = P_{\text{газ}} - (m_n + \frac{1}{4} m_{\text{ш}}) R \omega^2 (1 + \lambda). \quad (1.66)$$

Мисаллар:

$$D = 79 \text{ мм}, S = 76 \text{ мм}, \lambda = 0,275, F_{\text{неишк}} = 0,0049 \text{ м}^2, R = 0,038 \text{ м}.$$

1) Номиналь режимда

p_z эжыл. исеп. = 5,5 МПа һәм $n_{N_e} = 6000$ айл/мин булганда

$$\omega = 628,3 \text{ рад/с}, \quad p_z \text{ чыдам. исеп.} = 0,85 \cdot 5,5 = 4,675 \text{ МН}.$$

Газ көче

$$P_{\text{газ}} = p_z \text{ чыдам. исеп.} \cdot F_{\text{пешк.}} = 4,675 \cdot 0,0049 = 0,0229 \text{ МН}.$$

Пешкәк массасы – 0,49 кг, шатунның массасы – 0,735 кг.

Кайтма-алга таба бара торган масса

$$m_{\text{к.а.}} = m_n + 0,25m_{\text{ш}} = 0,49 + 0,25 \cdot 0,735 = 0,674 \text{ кг}.$$

Инерция көче

$$P_j = -m_{\text{к.а.}} \cdot R \cdot \omega^2 (1 + \lambda) =$$

$$= -0,674 \cdot 0,038 \cdot (628,3)^2 \cdot (1 + 0,275) = -12892 \text{ Н} = -0,0129 \text{ МН}$$

Цилиндр күчәренә тәэсир итүче көч:

$$P_n = P_{\text{газ}} + P_j = 0,0229 \text{ МН} - 0,0129 \text{ МН} = 0,01 \text{ МН} \quad (1,02 \text{ тонна}).$$

2) Максималь бөтерүче момент режимы өчен исәпләүләрне кабатлыйбыз

p_z эжыл. исеп. = 6,325 МПа һәм $n_{M_e} = 3000$ айл/мин булганда

$$\omega = 314 \text{ рад/с}, \quad p_z \text{ чыдам. исеп.} = 0,85 \cdot 6,325 = 5,38 \text{ МПа}.$$

Газ көче

$$P_{\text{газ}} = p_z \text{ чыдам. исеп.} \cdot F_{\text{пешк.}} = 5,38 \cdot 0,0049 = 0,0264 \text{ МН}$$

Инерция көче

$$P_j = -m_{\text{к.а.}} \cdot R \cdot \omega^2 (1 + \lambda) =$$

$$= -0,674 \cdot 0,038 \cdot (314)^2 \cdot (1 + 0,275) = -3220 \text{ Н} = -0,00322 \text{ МН}$$

Цилиндр күчәре буенча тәэсир итүче көч

$$P_n = P_{\text{газ}} + P_j = 0,0264 - 0,00322 = 0,0232 \text{ МН} \quad (2,32 \text{ тонна}).$$

3) Буш йөрешнең чик айләнешләре өчен

p_z эжыл. исеп. = 1,5 МПа һәм $n_{\text{max}} = 7500$ айл/мин булганда

$$\omega = 785 \text{ рад/с}, \quad p_z \text{ чыдам. исеп.} = 0,85 \cdot 1,5 = 1,275 \text{ МПа}.$$

Газ көче

$$P_{\text{газ}} = p_z \text{ чыдам. исеп.} \cdot F_{\text{пешк.}} = 1,275 \cdot 0,0049 = 0,00625 \text{ МН}$$

Инерция көче

$$P_j = -m_{\text{к.а.}} \cdot R \cdot \omega^2 (1 + \lambda) =$$

$$= -0,674 \cdot 0,038 \cdot (785)^2 \cdot (1 + 0,275) = -20123 \text{ Н} = -0,02 \text{ МН}.$$

Цилиндр күчәре буенча тәэсир итүче көч

$$P_n = P_{газ} + P_j = 0,00625 - 0,02 = - 0,01375 \text{ МН } (-1,375 \text{ тонна}).$$

Димәк, пешкәк аска таба газлар энергиясе белән түгел, ә маховик энергиясе белән күчә.

Нәтижәләр:

Чыдамлылыкка исәпләү 2 режимда алып барыла:

- максималь момент режимында $|P_{газ}| \gg |P_j|$;
- максималь әйләнешләр режимында $|P_j| \gg |P_{газ}|$.

Бензин двигательләрен исәпләгәндә гадиләштерү өчен $M_{e \max}$ режимында бары тик газ көчләрен генә исәпкә алалар (инерцион көчләр исәпкә керми) һәм максималь әйләнешләр режимында ($n_{\max} = 1,35 n_{\text{ном}}$) бары тик инерцион көчләр генә исәпкә алына.

Дизель двигателен исәпләгәндә $M_{e \max}$ режимында бары тик газ көчләрен генә исәпкә алалар һәм $N_{e \text{ ном}}$ режимында (максималь әйләнешләр режимында түгел) ике төрле көч тә исәпкә алына. Терсәкле валның әйләнү ешлыгына регулятор куелганлыктан, дизельдә максималь әйләнешләр режимы тормышка ашырылмый.

1.15. ДВИГАТЕЛЬЛӘР ЯСАЛЫШЫНДА ЧЫДАМЛЫЛЫККА ИСӘПЛӘҮЛӘР

«Материаллар каршылыгы» курсынан билгеле булганча, чыдамлылыкка исәпләүнең ахыргы максаты булып:

- рөхсәт ителгән көчәнешләр буенча чыдамлылыкны билгеләү тора. $\sigma_{\text{чыдам. исәпл.}}$ билгеләнгән ресурсларны тәэмин итү шарты белән, тәжрибә юлы белән алынган билгеле материаллар пары өчен, ниндидер алдан бирелгән зурлыктан кечерәк булырга тиеш;

- ныклык запасын билгеләү

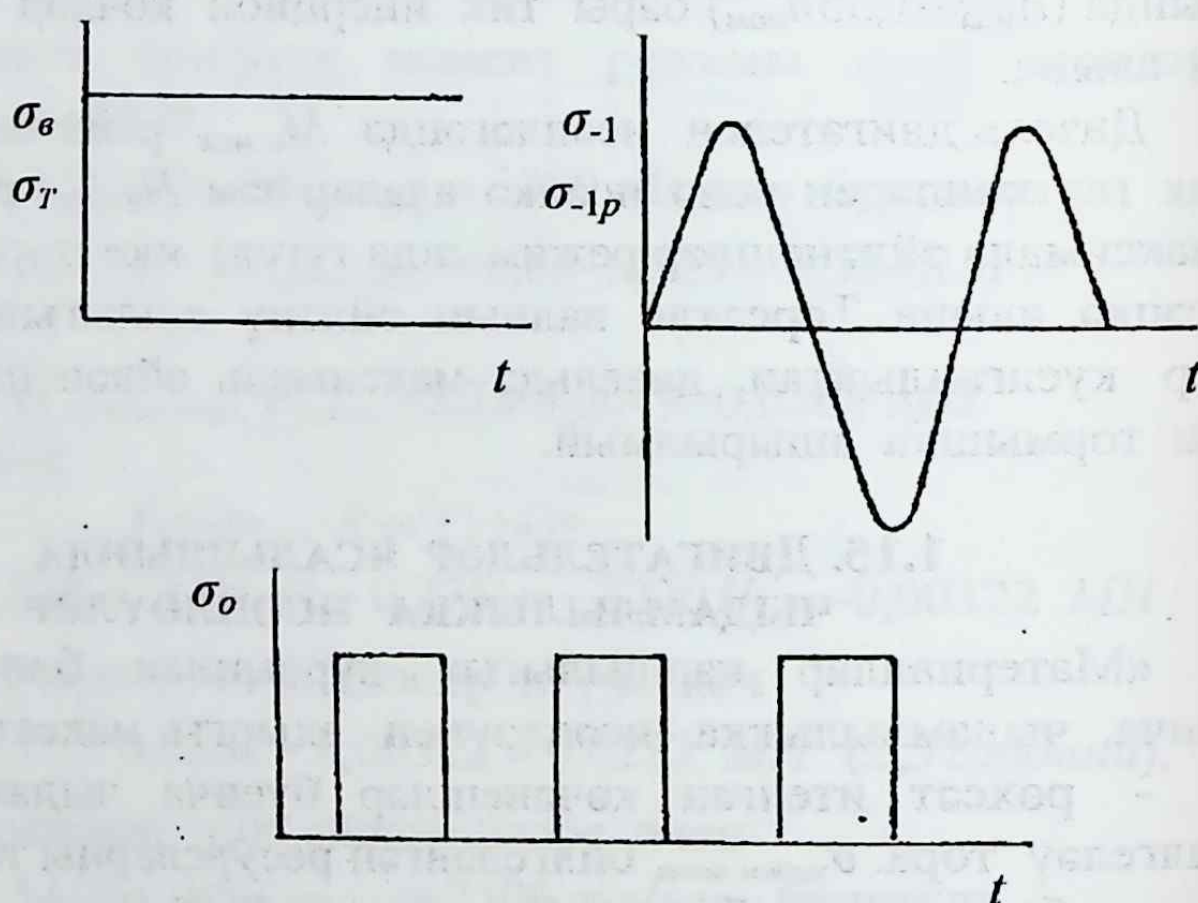
$$n = \sigma_{\text{рохс. шт.}} / \sigma_{\text{исәпл.}} > 1,25.$$

Бу вакытта рөхсәт ителгән көчәнешләрне $[\sigma]$ яисә $[\tau]$ стандарт йөкләнү шартларында стандарт геометрия үрнәкләрен сынаудан чыгып алалар. Бөтен конструкцион материаллар өчен билгеле мәгълүматлар:

σ_{σ} , σ_T , σ_{-1} , σ_0 , σ_{-1p} (τ өчен дә шулай ук),

монда рөхсәт ителгән көчәнеш кыйммәтләре:

- σ_{σ} - сынаулар вакытында жимерелми торган үрнәккә куелган көчәнешләр (чыдамлылык чиге);
- σ_T - сынаулар вакытында агучанлык алдан бирелгән кыйммәттән чыкмаган вакыттагы көчәнеш (агучанлык чиге);
- σ_{-1} - йөкләнү законы билге үзгәртүчән (мәсәлән, бөгелеш төрле якларга да бертигез);
- σ_{-1p} - шулар ук, әмма сузылу-кысылу көчәнешләре өчен;
- σ_0 - бу вакытта бөгелеш бер генә якка була.



47 нче рәсем

«Материаллар каршылыгы»ның төп гипотезасы: стандарт йөкләнешләр өчен стандарт үрнәк. Әмма двигателдә детальләр үлчәмнәре буенча да, механик һәм термохимик эшкәртүләр буенча да үрнәккә туры килми (10 мм, стержень полировкаланган, өслеге тыгызландырылмаган).

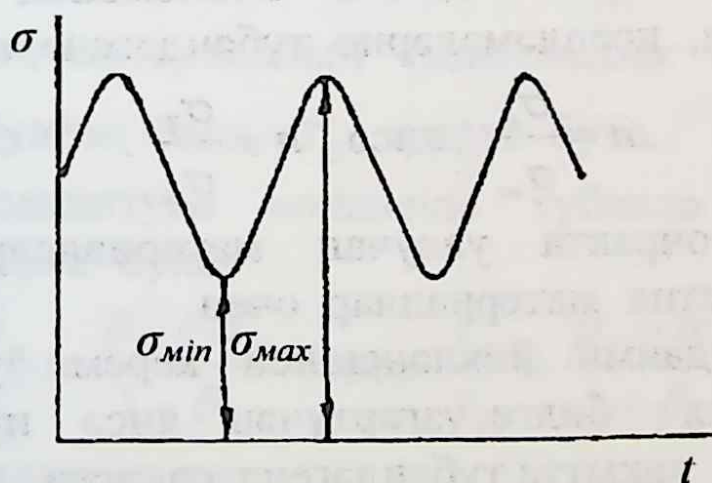
Үрнәк көчәнеш концентраторларсыз эшләнгән, ә детальләр һәрвакыт көчәнеш концентраторлары белән ясалган була.

Көчәнеш концентраторлары тәсиренен үрнәге: әгәр дә пыялага билге ясалган икән, пыяла нәкъ шул билге буенча ярыла. Әгәр кәгазь битен бөкләп тигезләсәк, кәгазь дә бөкләнгән урыннан ертыла.

Төрле материаллар йөкләнешкә төрле реакция бирәләр (әйтик, сузылулар) - кайберләре формаларын үзгәртмичә ниндидер көчәнешләр һәм күпмедер вакыт узгач жимереләләр — бу чыдамлылык чиге. Бүтәннәре жимерелгәнчегә кадәр үк озыная, ага башлылар - агучанлык чиге.

Стандарт булмаган йөкләмәләр вакытында стандарт булмаган детальләрнең чыдамлылык исәпләүләренен төп идеясе: йөкләнешнең без карый торган стандарт булмаган детальләрнең бертигез дәрәжәдә куркыныч булырлык стандарт йөкләнеш циклын табу.

Мәсәлән, монтажлау вакытында болтлар һәрвакыт баштагы тарттыру көчәнешенә ия булалар, алай булмаганда жыелма конструкцияләр какшый башлый. Алдан тарттырып куелган болтларга газ һәм инерция көчләреннән пульсацияләнгән йөкләнешләр тәсир итә.



48 нчы рәсем

Нинди стандарт цикл буенча санарга соң: даими тәсир итүче йөкләнеш булгандамы яисә «нульләнгән»

цикл буенчамы? Реаль йогынты ясаучы йөкләмәләргә теге яки бу йөкләмәләрнең керемән ничек бәяләргә?

Әйтик, детальгә σ_{max} һәм σ_{min} чикләрендә үзгәрә торган көчәнешне китереп чыгаручы йөкләнешләр тәэсир итә. Циклдагы максималь һәм минималь көчәнеш дигән төшенчәгә исәпләү моделен төзөгәндә тагын икене өстилә:

- циклдагы уртача көчәнеш

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

(m - «медиана» - билгесе – уртача);

- циклдагы амплитуда көчәнеше

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}.$$

Асимметрия коэффициенты дигән төшенчә кертелә

$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}},$$

ягъни модель йөкләнешләренең ике сортын суммалаштырган кебек:

- σ_m даими йөкләнешле көчәнеш,

- σ_a пульсацияле йөкләнешле көчәнеш.

Күргәнебезчә, әгәр дә даими йөкләмәнең кереме чиктән тыш зур икән, исәпләмәләрне түбәндәгечә алып барырга

$$n = \frac{\sigma_v}{\sigma_m} \quad \text{яисә} \quad n = \frac{\sigma_T}{\sigma_m}.$$

Беренче очракта уалучан материаллар өчен, икенче очракта - пластик материаллар өчен.

Әгәр дә даими йөкләнешнең кереме зур түгел икән, мәсәлән, цикл билге үзгәртүчән яисә пульсацияләүчегә якынлаша. Ул вакытта түбәндәгечә санарга

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a}, \quad \text{яисә} \quad n = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_a}, \quad \text{яисә} \quad n = \frac{\sigma_o}{\sigma_a}.$$

Ләкин болар барысы да “кечерәк-зуррак” дигән сыйфат бәяләмәсе генә. Инженер исәпләмәләре өчен үлчәм кирәк.

Исәпләмә моделенә ниндидер бер үлчәү берәмлегенә кертәләр

$$c_1 < \frac{\sigma_a}{\sigma_m} < c_2,$$

монда c_1 һәм c_2 - материалның механик үзлекләренән кайбер характеристикалары. Материалның механик үзлекләрен характерлаучы ару чигенән агучанлык чигенә чагыштырмасын күрсәтүче төшенчә кертелә:

- йөкләнешләр бөгелмәле булганда

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_T};$$

- йөкләнешләр сузылулы-кысылулы булганда

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_T};$$

- пульсациялә йөкләнешләр булганда

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_o}{\sigma_T}.$$

Монан тыш, симметрияле булмаган циклның тигез куркынычлы циклга китерә торган коэффициенты кертелә - α_σ .

α_σ конструкцион материалның чыдамлылык чигенә бәйле:

σ_o югарырак булган саен, α_σ зуррак була.

Әгәр дә амплитуда көчәнеше түбәндә күрсәтелгән комплекстан күбрәк булса

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} \quad (\text{яисә} \quad \frac{\tau_a}{\tau_T} > \frac{\beta_\tau - \alpha_\tau}{1 - \beta_\tau}),$$

ул вакытта исәпләүләр өчен

$$n = \sigma_{-1} / \sigma_{исәпл.}, \quad \text{яисә} \quad n = \sigma_{-1p} / \sigma_{исәпл.}, \quad \text{яисә} \quad n = \sigma_o / \sigma_{исәпл.};$$

әгәр бу комплекстан кечерәк булса

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} < \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} \quad (\text{яисә} \quad \frac{\tau_a}{\tau_T} < \frac{\beta_\tau - \alpha_\tau}{1 - \beta_\tau}),$$

ул вакытта исәпләүләр өчен

$$n = \sigma_T / \sigma_{исәпл.}$$

Соңгы очракта даими көчәнешнең кереме үзгәрүчән көчәнешнекенә караганда күбрәк.

Әмма хәзергә симметрик модель циклында исәпләмәле модель көчәнешләренең кыйммәте билгеле түгел, алар исә безнең ирекле циклга бертигез куркынычлы була.

Беренче чиратта көчәнеш концентраторларының йогынтысын исәпкә алырга кирәк

$$\alpha_{\kappa\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ном.}}},$$

монда

- $\sigma_{\max}$ - концентраторларны исәпләп реаль көчәнеш;

- $\sigma_{\text{ном}}$ - статик йөкләнеш вакытында номиналь көчәнеш.

Мәсәлән, М10 резьбасында гайка 200Н көч кую белән тарттырылган, резьбаның адымы $t=1\text{мм}$.

Тере кисем

$$D_6 = D_{\text{резьба}} - 1,4 \cdot t = \\ = 10 - 1,4 = 8,6\text{мм} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$F_6 = \frac{\pi D_6^2}{4} = 58 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Ул вакытта

$$\sigma_{\text{ном}} = \frac{200}{58 \cdot 10^{-6}} = 3,45 \text{ МПа},$$

ә чынлыкта, куркыныч көчәнеш

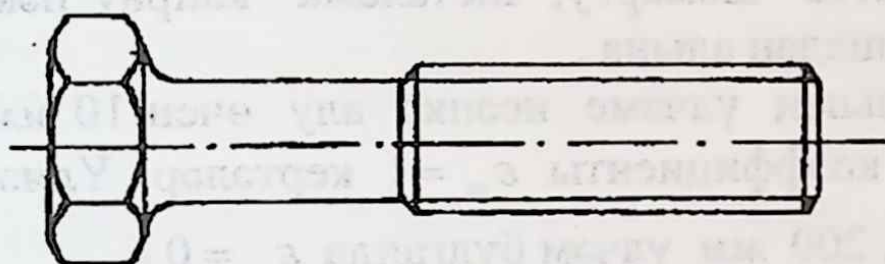
$$\sigma_{\max} = \alpha_{\kappa\sigma} \cdot \sigma_{\text{ном.}}$$

Төрле концентраторлар өчен $\alpha_{\kappa\sigma}$ коэффициентының кыйммәте «Материаллар каршылыгы» таблицаларында китерелгән.

Кискеч белән сырланган резьбалар өчен $\alpha_{k\sigma} = 4 \pm 0,5$, ягъни $\sigma_{max} = (4 \pm 0,5) \cdot 3,45 = 12...15,5$ МПа. Шунлыктан да болт резьба кисем буенча өзелә. Ә тигез чыдамлы болт 49 нче рәсемдәгечә була.

Ләкин бу концентраторларга карата конструкцион материалларның сизгерлеген исәпләмичә генә

$$K_{\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1}^k$$



49 нче рәсем

коэффициенты кертелә, монда σ_{-1}^k - концентраторны исәпкә алып арыганлык чиге.

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{k\sigma} - 1),$$

монда q - материалларның концентраторларга сизгерлелеге коэффициенты, q ның кыйммәте 0 дән башлап (соры чуен концентраторларга сизгер түгел) 1 гә кадәр үзгәрә (югары чыдамлы легирланган корычлар өчен).

Орынмалы көчәнешләр өчен $K_{\tau} = 0,5K_{\sigma}$.

Димәк, концентраторларны исәпләү белән бердәй куркыныч көчәнешнең кыйммәте $\sigma_{ak} = K_{\sigma}\sigma_a$.

Мәсәлән, М10 болты адымы $t=1$ мм, материалы корыч 20 Х, 750 МПа чыдамлылык чиге белән. Агучанлык чиге өчен сузылу-кысылу вакытында $\alpha_{\sigma} = 0,13$, $q = 0,65$ резьба өчен $\alpha_{k\sigma} = 4$, ул вакытта $K_{\sigma} = 1 + 0,65(4 - 1) = 2,95$ (3 булсын ди). Шунлыктан, бердәй куркыныч циклда исәпкә алынучы көчәнеш

$$\sigma_{ak} = K_{\sigma} \cdot \sigma_a = 3\sigma_a.$$

Ләкин бу гына түгел эле. Билгеле булганча, полировкаланган стержень механик эшкәртү эзләре булган стерженьнән чыдамлырак, ә термо һәм термохимик эшкәртү узганнары эшкәртелмәгәннәренә караганда чыдамлырак була.

Өслек сизгерлеге коэффициенты дигән төшенчә кертәләр. Полировкаланган өслекне 1 берәмлек дип кабул итәләр. Ул вакытта шомарту, чисталама кайрау һәм башкалар 21 нче таблицада алына.

Детальнең үлчәме исәпкә алу өчен 10 мм үлчәме өчен масштаб коэффициенты $\varepsilon_m = 1$ кертәләр. Үлчәм зурайганда ε_m кими. 200 мм үлчәм булганда $\varepsilon_m = 0,6$.

Шулай итеп, бердәй куркыныч симметрик циклда көчәнешләр

$$\sigma_{ak} = \frac{K_{\sigma} \sigma_a}{\varepsilon_m \varepsilon_n}.$$

21 нче таблица

Эшкәртү төре	ε_n кыйммәте
шомарту	0,92
чисталама кайрау	0,9
эшкәртүдән башка	0,6
ядрә белән өрдертү	1,5
ролик белән тәгәрәтү	2
азотлау	2,5
чыныктыру	2,8

Сузылу-кысылу йөкләнеше

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} > \frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}}$$

булган очракта, чыдамлылык запасы коэффициенты

$$n = \frac{\sigma_{-1p}}{(\sigma_{ak} + \alpha_{\sigma} \sigma_m)}$$

була, ягъни даими йөкләнешле көчәнешнең σ_m тәэсире α_σ үзгәргән рәвештә кими.

$$\Theta \text{ инде } \frac{\sigma_a}{\sigma_m} < \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} \text{ булган очракта, } n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ак} + \sigma_m}.$$

2. АВТОМОБИЛЬ ДВИГАТЕЛЬЛӘРЕН ИСӘПЛӘҮ

2.1. АҢЛАТМА

Студентлар өчен “Автомобильләр һәм автомобиль хужалыгы” белгечлеге буенча “Эчке янулы двигательләр” фәненә караган курс проектының төзелеше.

Язмада аңлатылганча рәсмиләштерелгән исәпләү өлеше түбәндәгечә була:

1. Биремгә ярашлы рәвештә двигательнең жылылык исәпләмәсе. Ә жылылык исәпләмәсенең нәтижәсе түбәндәгеләрдән гыйбарәт:

яисә 1.1. Цилиндрның геометрик үлчәмнәре һәм двигатель компоновкасының сайлануы һәм дәлилләнүе;

яисә 1.2. Узелларга һәм детальләргә ия булган двигательнең планын төзүдә максатка ирешү юлларының раслануы;

яисә 1.3. Серияле двигательләргә икенче төрле ягулыкка күчергәндә бирелгән параметрларның дәлилләнүе;

2. Индикаторлы диаграмманың һәм тышкы тизлекле характеристиканың (ТТХ) булдырылуы.

3. Әһәмияткә ия икәнлеген төшендерү максаты белән двигательдә эш итүче көч һәм моментларның кинематик һәм динамик исәпләмәләре.

4. Сайланган материалның һәм үлчәмнәрнең дөрөс билгеләнешен раслау максаты белән динамик исәпләмә нигезендә чыдамлылык исәпләмә булдыру.

5. Двигательдәге бер системаның исәпләмәсе.

Эшлängән эш барышыннан чыгып фикер йөртсәк, язманың әһәмияте нәрсәдә чагыла һәм язманы нәрсәләр тәшкил итә? Эшлängән эшләрдән чыгып алдагы фикерләргә әйтергә була. Язманың эчтәлеген инженерларча төгәллек белән нәтижәле итеп, төшендереп бирелгән булуы һәм боларга өстәп файдаланылган әдәбиятның исемлеге, эчтәлек тәшкил итүен әйтергә кирәк. Ә хәзер курс проектының график өлешенә күз салып китәрбез.

Курс проектының график өлешенә түбәндәгеләр керә:

1. Двигательнең буйга киселеше А-1 форматлы биттә;
 2. Двигательнең аркылыга киселеше А-1 форматлы биттә;
 3. Индикатор диаграммасы белән тасвирланган плакат
- ТТХ һәм двигательдәге бер системаның схемасы А-1 форматлы биттә.

График өлештә түбәндәгеләр ачык чагылырга тиеш:

- двигательнең компоновкасы;
- детальләрнең ярамы торган күчүдән беркетелүе, мәсәлән, терсәкле һәм бүлү валларның күчәрле беркетелүе;
- агрегатларның йөрткече;
- үзара хәрәкәтләнүче детальләрнең тоташтырылуы;
- газ ялганышының тәмин ителүе, ягъни гарантияләнүе.

Проектант тарафыннан эшләр хәлгә китереп җиткерелгән агрегатлар гына двигатель сызымнарында күрсәтелә (шул исәптән киселеш рәвешендә дә). Ә башкалары өчен кушылу, куелу урыннары гына күрсәтелә, мәсәлән, свечаның үзеннән башка аның куела торган уемы, ягъни урыны күрсәтелә.

Сызымда күрсәтелгән мәгълүматларны проектантның яхшы белүе зарури. Төзелеше, корылышы, ягъни җайланманың эшләү принцибын тәртип буенча эшләп китәрлек итеп көйли белү, файдаланылган материаллар, җыелу һәм сүтелү, майлау һәм суытылу турында проектант бәйнә-бәйнә итеп аңлата белергә тиешле.

i —цилиндрлар саны; ε —кысу дәрәжәсе; D —цилиндрның диаметры, мм; S —пешкәкнең йөреше мм; V_d —двигательнең литражы, литр; N_e —әйләнү ешлыгы n_N (әйл/мин) булганда номиналь егәрлек, кВт; M_e —әйләнү ешлыгы n_M (әйл/мин) булганда бөтерүче моментның максималь кыйммәте, Н·м; N_L —литрлы егәрлек, кВт/литр; p_e —уртача эффектив басымның максималь кыйммәте, МПа; K_n —ярашучанлык коэффициенты; K_c —тизлек коэффициенты.

Кысу дәрәжәсенен уртача эффектив басым зурлыгына тәэсир итүе.

Двигательләр	Кысу дәрәжәсе	Уртача эффектив басым p_e , МПа
	ε	
ГАЗ-А	4,6	0,48
ЗИС-5	4,7	0,53
ЗИС-120	6	0,6
ГАЗ-11	5,6	0,554
ГАЗ-11	6,5	0,584
ГАЗ-М-20	6,2	0,6
ГАЗ-21А	6,7	0,676
УАЗ-450	6,6	0,64
МеМЗ-968	7,2	0,69
МеМЗ-245	9,5	0,764
ВАЗ-2101	8,5	0,84
М-412 "Э"	8,8	0,77
М-408	7,0	0,68
24-01	6,7	0,68
24"Д"	8,2	0,76
ВАЗ 2109	9,9	0,8
УАЗ М-3317	8,5	0,816
ЗМЗ-53	6,7	0,746
ЗИЛ-130	6,5	0,69
ЗИЛ-375 ЯЧ	6,5	0,71

Бәяләү исәпләмәләр өчен эмперик бәйлелектән файдаланырга мөмкин

$$p_e = (0,067\varepsilon + 0,2) \text{ МПа}.$$

Кысу дәрәжәсен үзгәртү ярдәмендә эксплуатациялэнгән двигательдә уртача эффектив басым үзгәрә .

$$p_{e_{\text{үзг}}} = p_{e_{\text{башт}}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\varepsilon_{\text{үзг}}}{\varepsilon_{\text{башт}}}\right)^2}$$

күрсәткече баштагы булганда – баштагы параметр, ә күрсәткече үзгәртелгән булганда – үзгәртелгән параметр була.

2.2. ЖЫЛЫЛЫК ИСӘПЛӘМӘСЕ

Жылылык исәпләмәсе өчен башта кирәкле мәгълүматлар: двигательнең төре, ягулык составы, артып калган һаваның

исәпләнгән әһәмиятле коэффициентлы, бирелгән әйләнеш ешлыгы буенча двигатель егәрлеге, кысу дәрәжәсе. Теләгән очракта кирәкле компоновка күрсәтелә.

1 кг ягулыкның тулысынча янып бетүе өчен кирәк булган һаваның микъдары:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \frac{\text{КМоль } \text{һава}}{\text{кг ягулык}}; \quad (2.1)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \frac{\text{кг } \text{һава}}{\text{кг ягулык}}; \quad (2.2)$$

яисә
$$l_0 = \mu_v \cdot L_0,$$

монда
$$\mu_{\text{һава}} = 28,96 \frac{\text{кг } \text{һава}}{\text{КМоль } \text{һава}}.$$

1 кг ягулык булганда саф катнашмадагы мольләр микъдары

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_T} \quad (2.3)$$

монда m_T - 1 КМоль ягулыкның массасы (бензин – 110... 120 кг; этанол – 46 кг; метанол – 32 кг; метан – 16 кг һәм башкалар), ягъни 1 кг ягулык өчен тотылган саф катнашмадагы мольләрнең микъдары һавадан һәм ягулыктагы мольләрнең микъдарынан тора.

M_1 ның үлчәнеш исәбе $\frac{\text{КМоль саф катнашма}}{\text{кг ягулык}}$ тигез була.

$\alpha > 1$ булганда янган продуктларның мольләр микъдары

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792\alpha L_0 + (\alpha - 1)0,208L_0; \quad (2.4)$$

M_2 ның үлчәнеш исәбе $\frac{\text{КМоль янган катнашма}}{\text{кг ягулык}}$ тигез була.

$\alpha < 1$ булганда янган продуктларның мольләр микъдары тулысынча янган һәм тулысынча янмаган продуктларның мольләр суммасы кебек исәпләнелә. CO дан CO_2 гә хәтле һәм H_2 дан H_2O га хәтле окислашкан химик реакцияләрнең тизлеге бердәй булмаганлык аркасында H_2 концентрациясенен CO концентрациясенә үзара мөнәсәбәте бай катнашмаларның яну продуктларында катнашманың составына (α) бәйле була. Бензин белән эшли торган двигательләрдә катнашманың егәрлек составы $\alpha = 0,9 \pm 0,04$. α ның бу кыйммәтендә

$\frac{M_{H_2}}{M_{CO}}$ үзара бәйләнеше $K = 0,47 \pm 0,03$ кыйммәтен кабул итә.

$$M_{CO} = 2 \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 L_0 = 0,283(1-\alpha) L_0 \frac{\text{КМоль } CO}{\text{кг янган ягулык}} ;$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - M_{CO} \frac{\text{КМоль } CO_2}{\text{кг янган ягулык}} ;$$

$$M_{H_2} = K M_{CO} \frac{\text{КМоль водород}}{\text{кг янган ягулык}} ;$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - M_{H_2} \frac{\text{КМоль су}}{\text{кг янган ягулык}} ;$$

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0 \frac{\text{КМоль азот}}{\text{кг янган ягулык}} ;$$

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO_2} + M_{H_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} ;$$

икенче яктан:

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792 \alpha L_0 ;$$

бу ике нәтижә арасындагы аермалылык 0,1% тан артмаска тиеш.

Моль үзгәрүе коэффициенты

$$\mu_o = \frac{M_2}{M_1} \quad (2.5)$$

һәм бөтен углеводородлы ягулыклар (метаннан башка) өчен 1,0 дән артып китә. Метан өчен $\mu_o = 1$. Водород өчен $\mu_o < 1$. α ның артуы белән μ_o ның кыйммәте 1 гә таба омтыла (бөтен очрақларда да).

2.3. ГАЗ АЛМАШУНЫҢ ПАРАМЕТРЛАРЫ

Кабул итәргә: $p_o = 0,1013 \text{ МПа}$; $T_o = 293 \text{ К}$; $p_r = (1,15 \dots 1,19)p_o$.
23 нче таблица

Двигатель	Дизель	Өрдөртүле дизель	Бензин белән	Газ белән
T_r	770 ± 20	820 ± 20	1000 ± 100	950 ± 100
ΔT	16 ± 4	5 ± 5	13 ± 7	13 ± 7

Гомуми закончалык:

корылманың тыгызлыгы

$$\rho_{кор.} = \frac{p_{кор.} [\text{МПа}] \cdot 10^6}{R_{газ} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right] T_{кор.} [\text{град}]}, \text{ кг/м}^3. \quad (2.6)$$

Өрдөртүдән башка $p_{кор.} = p_o$; $T_{кор.} = T_o$; $\rho_{кор.} = 1,2 \text{ кг/м}^3$

Өрдөртү ярдәмендә $p_{кор.} = \pi_k p_o$; $T_{кор.} = T_o (\pi_k)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$; $\pi_k = 1,65$
(үзәктән куучы компрессор өчен).

2.3.1. Көртү системасында басымның югалуы

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{көртү}) \frac{\rho_{кор.} W^2}{2}, \quad (2.7)$$

монда

- W – көртү клапанының киселешендә корылманың тизлеге.
Януны гарантияләү шартлары буенча минималь тотрыклы

ешлыкта бу тизлек 15 м/с тан түбән булмаска тиеш. Номиналь ешлыкта W кабул итәргә мөмкин: югары әйләнешле бензин белән эшли торган автомобиль двигательләре өчен $W \sim 100$ м/с; узышу автомобиле двигательләре өчен $W = 130$ м/с; дизельләр өчен $W = 65 \dots 75$ м/с; күп клапанлы двигательләргә карата бер-никадәр түбәнрәк тизлек кулланыла;

- β - корылма хәрәкәте тизлегенә сүнү коэффициенты;
- $\xi_{\text{кертү}}$ — кертү клапанының киселешендә аэродинамик каршылык коэффициенты;

$(\beta^2 + \xi_{\text{кертү}})$ чагылышының кыйммәте кертү коллекторлар өчен чуенны жиргә кою юлы белән — 4,0...4,2; алюминий эретмәсе коелмасын жиргә кою юлы белән — 3,5...3,8; алюминий эретмәсен кокильга кою юлы белән — 2,7...3; корыч табактан кыздырып ябыштыру юлы белән — 2,3...2,5. $(\beta^2 + \xi_{\text{кертү}})$ чагылышы кыйммәтенең түбәнәюе эшләп чыгару сыйфатын шактый зур күтәрү юлы белән ирешелә.

$$\Delta p_a = (2,7 \dots 4,2) \frac{\rho_{\text{кор.}} W^2}{2}. \quad (2.8)$$

Кертү ахырында басым

$$p_a = p_k - \Delta p_a,$$

p_k - өрдертүнең басымы (өрдертүсез $p_k = p_o$).

2.3.2. Газ алмашу сыйфатын билгеләүче параметрлар

Калдык газларның коэффициенты

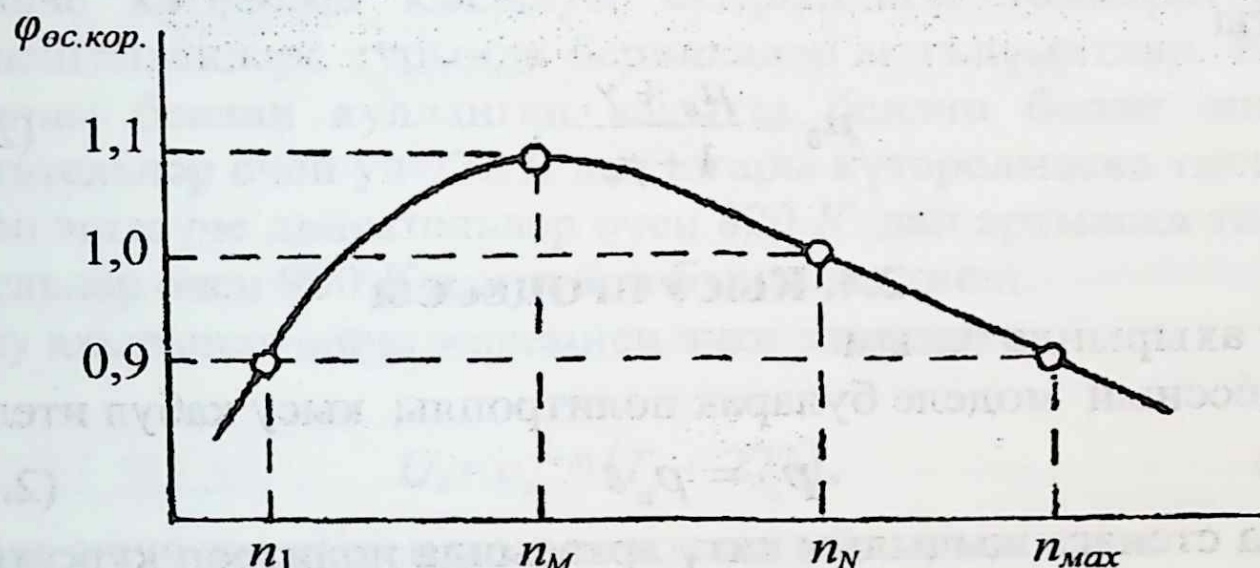
$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varphi_{\text{өс. кор.}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r}, \quad (2.9)$$

$\varphi_{\text{өс. кор.}}$ әйләнү ешлыгына һәм газ бүлү фазасына бәйле.

Монда

- n_I - йөкләнеш тәэсирендә минималь тотрыклы әйләнешләр;
- n_M — бөтерүче моментның максималь кыйммәтендәге әйләнешләр;
- n_N — номиналь әйләнешләр;

- n_{max} - максимальь эйлэнешлэр.



50 нче рәсем

Тутыру коэффициенты

$$\eta_v = \frac{T_K}{T_K + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{\varphi_{с.кор.} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r}{p_K}, \quad (2.10)$$

проектның үтәлеше өчен атмосфералы стандартлы шартлар кабул итеп алырга:

$$T_K = 293K; \quad p_K = 0,1013 \text{ МПа.}$$

Исәпләмә номиналь режимда гына алып барылганга күрә, өс-тәмә корылманың коэффициентын $\varphi_{с.кор.} = 1$ дип кабул итәргә.

Кертү ахырында эшче катнашманың температурасы: кертү клапаны аша узучы саф катнашма калдык газлар белән аралаша, бергә бутала һәм эшче катнашма барлыкка килә. Ә барлыкка килгән эшче катнашма температурасы һәм составы бунча саф катнашмадан аерылып тора

$$T_a = \frac{T_K + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}; \quad (2.11)$$

өрдертүсез

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}; \quad (2.12)$$

Янган вакытта эшче катнашмадагы чын моль үзгәрүе коэффициенты

$$\mu_\partial = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r}. \quad (2.13)$$

2.4. КЫСУ ПРОЦЕССЫ

Кысу ахырында басым.

Процессның моделе буларак политроплы кысу кабул ителә

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} \quad (2.14)$$

монда стенага жылылык китү аркасында политроп күрсәткече n_1 адиабат күрсәткеченә караганда кимрәк. Политропа күрсәткече якынча тигез

$$n_1 = 1,375 - \Delta K.$$

ΔK цилиндр үлчәмнәренә, цилиндрлар капкачы һәм пешкәк материалларына, божраларны тыгызландыру дәрәжәсенә һәм термодинамик циклга бәйле була.

Бик аз булган калдык газлар белән дизельләрдә һава кысыла, цилиндрның диаметры 95 мм лап, шуңа күрә $n_1 \rightarrow 1,38$.

Газ белән эшләүче двигательләрдә шактый зур микъдардагы күп атомлы ягулык газы белән һава катнашмасы кысыла, цилиндрның диаметры 100 мм дан күп түгел, шуңа күрә $n_1 \rightarrow 1,38$.

- Бирелгән курс проекты өчен түбәндәгеләрне кабул итәбез:
- бензин белән эшләүче двигательләр өчен $n_1 = 1,36 \dots 1,35$ (цилиндрның диаметры никадәр кечерәк булса, политропа күрсәткече шулкадәр кечкенәрәк була);
 - газ белән эшләүче двигательләр өчен $n_1 = 1,35 \dots 1,34$;
 - дизельләр өчен өрдертүдән башка $n_1 = 1,37 \dots 1,36$.

Кысу ахырында эшче катнашманың температурасы

$$T_c = T_a \varepsilon^{n-1} \quad (2.15)$$

Эшче катнашма кысылуу ахырындагы температураның чиклэнгэнлеклөре турында берникадәр мәгълүматлар. Югары октанлы бензин кулланган вакытта бензин белән эшләүче двигательләр өчен ул 770 K дан югары күтәрелмәскә тиеш. Газ белән эшләүче двигательләр өчен 820 K дан артмаска тиеш. Ә дизельләр өчен 900 K дан түбән булмаска тиеш. Кысу ахырында эшче жисемнең эчке энергиясе

$$U_c = c_v^{t_c} \cdot (T_c - 273), \quad (2.16)$$

монда эшче жисемнең мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{t_c} = \frac{c_{v\text{ hava}}^{t_c} + \gamma_r \cdot c_{v\text{ к.з.}}^{t_c}}{1 + \gamma_r} \quad \text{КДж/КМоль град.} \quad (2.17)$$

Һаваның мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_{v\text{ hava}}^{t_c} = 20,6 + 2,638 \cdot t_c \cdot 10^{-3} \quad \text{КДж/КМоль град.}$$

Кисемтәләр эчендәге функцияне

$$c_{v\text{ к.з.}}^{t_c} = f(t_c, \alpha)$$

Төрле α өчен калдык газларның мольле жылысыйдырышлыгы $c_{v\text{ к.з.}}^{t_c}$ [КДж/КМоль град]

24 нче таблица

$t_c, ^\circ\text{C}$	α						
	0,8	0,85	0,9	0,95	1,4	1,6	1,8
300	22,78	22,92	23,06	23,97	-	-	-
400	23,14	23,3	23,45	23,59	23,13	22,93	22,77
500	23,53	23,71	23,87	24,0	23,53	23,32	23,16
600	-	-	-	-	23,94	23,72	23,54
700	-	-	-	-	24,34	24,11	23,93

таблицада билгелэнгән чикләр белән сызыклы итеп кабул итәргә мөмкин.

2.5. ЯНУ ВАКЫТЫНДА ЖЫЛЫЛЫК КИТЕРҮЧЕ ПРОЦЕССНЫҢ ИСӘПЛӘМӘСЕ

2.5.1. Двигательдә жиңел ягулык (бензин һәм газ) януының ахырында температура

$$\frac{\xi_z \chi H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + U_c' = \mu_\partial U_z' \quad (2.18)$$

Жылылыкны куллану коэффициенты ξ_z ягулыкның төренә һәм терсәкле валның әйләнү ешлығына бәйле. 25 нче таблицада якынча кыйммәтләр бирелгән.

25 нче таблица

Әйләнү ешлығы	ξ_z ның кыйммәте	
	Бензин	Табиғый газ
1000	0,82	0,8
2000	0,88	0,82
3000	0,92	0,88
4000	0,93	0,92
5000	0,92	0,92
6000	0,9	0,9

Януның химик тулы булмаганлык коэффициенты билгеләнә

$$\Delta H_u = 287 M_{CO} + 240 M_{H_2},$$

монда M_{CO} һәм M_{H_2} — жылылык исәпләмәсендәге формулалары буенча билгеләнәләр

$$\chi = \frac{H_u - \Delta H_u}{H_u}; \quad (2.19)$$

$$U_z' = \frac{\frac{\xi_z \chi H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + U_c'}{\mu_\partial}; \quad (2.20)$$

$$U_z' = r_{CO} U_{CO}' + r_{CO_2} U_{CO_2}' + r_{H_2} U_{H_2}' + r_{H_2O} U_{H_2O}' + r_{N_2} U_{N_2}';$$

$$r_{CO} = \frac{M_{CO}}{M_2}; \quad r_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_2}; \quad r_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{M_2};$$

$$r_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_2} ; \quad r_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_2} ;$$

$$U_{CO}^{t_z} = (22,49 + 0,00143 t_z) t_z ;$$

$$U_{CO_2}^{t_z} = (39,123 + 0,003349 t_z) t_z ;$$

$$U_{H_2}^{t_z} = (19,678 + 0,001758 t_z) t_z ;$$

$$U_{H_2O}^{t_z} = (26,67 + 0,004438 t_z) t_z ;$$

$$U_{N_2}^{t_z} = (21,95 + 0,001457 t_z) t_z .$$

Алда язылачак төргә килеп чыгу

$$At_z^2 + Bt_z = \frac{\frac{\xi_z \chi H_u}{M_1 (1 + \gamma_r)} + U_c^{t_c}}{\mu_\partial} = C ;$$

$$A = 0,00143 r_{CO} + 0,00349 r_{CO_2} + 0,001758 r_{H_2} + 0,004438 r_{H_2O} + 0,001457 r_{N_2} ;$$

$$B = 22,49 r_{CO} + 39,123 r_{CO_2} + 19,678 r_{H_2} + 26,67 r_{H_2O} + 21,95 r_{N_2} .$$

t_z квадратик тигезләмәләрнең нәтижәләреннән була, аннан соң

$$T_z = t_z + 273 .$$

2.5.2. Дизельдә яну ахырының температурасы

$$\frac{\xi_z \cdot H_u}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} + [c_v^{t_c} + 8,314 \cdot \lambda] \cdot t_c + 2270 (\lambda - \mu_\partial) = \mu_\partial c_p^{t_z} t_z . \quad (2.21)$$

Дизель ягулыгының яну продуктларының икегә бүлөп карыйбыз: $\alpha = 1$ булганда яну продуктлары һәм кулланылмаган һава

$$M_2 = M_{\alpha=1} + M_{\text{һава}} ;$$

$$M_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792 L_o \quad (2.22)$$

$$M_{\text{һава}} = (\alpha - 1) L_o ;$$

$$C_v^{t_z} = r_{\text{прод}(\alpha=1)} \cdot C_v^{t_z}_{\text{прод}(\alpha=1)} + r_{\text{хава}} \cdot C_v^{t_z}_{\text{хава}},$$

монда

- $C_v^{t_z}$ - бирелгән α булганда яну продуктарның молье жылысыйдырышлығы;
- $C_v^{t_z}_{\text{прод}(\alpha=1)}$ - $\alpha = 1$ булганда яну продуктарның молье жылысыйдырышлығы;
- $C_v^{t_z}_{\text{хава}}$ - һаваның молье жылысыйдырышлығы.

$$C_v^{t_z}_{\text{хава}} = 22,387 + 0,001449 t_z ;$$

$$C_v^{t_z}_{\text{прод}(\alpha=1)} = 25,1225 + 0,001955 t_z ;$$

$$C_p^{t_z} = C_v^{t_z} + 8,314, \frac{KДж}{КМоль \text{ град}}.$$

Шулай итеп, нәтижә квадратик тигезләмә нәтижәсенә алып бара.

$$[C_v^{t_z} + 8,314] \cdot t_z = \frac{\frac{\xi_z H_u}{M_1(1+\gamma_r)} + [C_v^{t_c} + 8,314] t_c + 2270(\lambda - \mu_0)}{\mu_0} \quad (2.23)$$

(2.23) тигезләмәсендәге басым күтәрелү дәрәжәсенен (λ) кыйммәтен билгеләү кирәк. Болар һәммәсе дә пешкәк һәм шатун белән төп подшипникларның вкладыш ресурслары турындагы фикерләрдән чыгып эшләнелә.

Хәзерге вакытта булган пешкәкләр һәм вкладышлар хәзерләү технологиясе яну ахырында басымны 11 МПа дан арттырырга мөмкинлек бирми. 10...15 МПа дәрәжәсендә p_z кыйммәтен билгеләп, изохор жылылык килгәндә басымның күтәрүнең әһәмияте булырга мөмкин

$$\lambda = p_z \text{ билгеләнгән} / p_c \text{ исәпләнгән}.$$

Жиңел ягулыклы двигательдә яну ахырында басым исәпләмәсе

$$p_z = \lambda p_c. \quad (2.24)$$

Дизельдә алдан киңәю дәрәжәсенә исәпләмәсе

$$\rho = \mu_\partial \frac{T_z}{\lambda T_c}. \quad (2.25)$$

2.6. Киңәю процессы

Киңәю ахырында басым

$$p_\partial = p_z \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon}{\rho}\right)^{n_2}}. \quad (2.26)$$

Жиңел ягулык кулланучы двигательләр өчен $\rho = 1$.

Исәпләмәдә n_2 кыйммәте:

- бензин белән эшләүче двигательләр өчен $n_2 = 1,255 + 0,005$;
- газ белән эшләүче двигательләр өчен $n_2 = 1,265 + 0,005$;
- бүленмәгән яну камерасы булган дизельләр өчен $n_2 = 1,25$;
- өрдертүле дизельләр өчен $n_2 = 1,26..1,27$.

Шул исәптән, киңәю ахырында эшче жисемнәң температурасы

$$T_\partial = T_z \cdot \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon}{\rho}\right)^{n_2-1}}. \quad (2.27)$$

T_∂ кыйммәтен исәпләгәннән соң, башта кабул ителгән калдык газлар температурасының хаталары бармы-юкмы икәнлеген тикшерү урынлы булып

$$T_r = T_\partial / \sqrt[3]{\frac{p_\partial}{p_r}},$$

$\Delta = ((T_r \text{ исәпләнгән} - T_r \text{ кабул ителгән}) / T_r \text{ исәпләнгән}) \cdot 100$,
хата 7 % тан артмаска тиеш.

Артык булган очракта (2.9) тигезлэмэгэ әйләнеп кайтабыз һәм исәпләнгән калдык газлар температурасын куеп яңадан исәплибез.

2.7. ЭЧКЕ ЯНУЛЫ ДВИГАТЕЛЬНЕН ИНДИКАТОР КҮРСӘТКЕЧЛӘРЕ

Уртача индикатор басым

$$p_i = \frac{0,95 p_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon}{\rho} \right)^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (2.28)$$

Уртача индикатор басымның чикләре:

- бензин двигательләре өчен $p_i = 0,99 \dots 1,1$;
- газ двигательләре өчен $p_i = 0,9 \dots 0,95$;
- бүленмәгән яну камерасы булган дизельләр өчен $p_i = 0,95 \dots 0,96$;
- өрдертүле дизельләр өчен $p_i \sim 1,2 \dots 3,0$.

Индикаторның файдалы эш коэффициенты (ф.э.к.)

$$\eta_i = \frac{p_i l_o \alpha}{H_u \rho \eta_v},$$

әгәр дә p_i [МПа] дә, ул вакытта H_u [МДж/кг] дә.

Ягулыкның индикаторлы чагыштырма тотылуы

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i}.$$

Әгәрдә ягулыкның жылылык бирү сәләте (H_u) өчен МДж/кг үлчәнеше кабул ителсә, ул вакытта g_i үлчәнеше г/КВт·сәгать була, әгәр КДж/кг булса, кг/КВт·сәгать дип кабул ителә.

2.8. МЕХАНИК ЮГАЛТУЛАРНЫҢ БАСЫМЫ

Механик югалтулар түбәндәгеләрдән барлыкка килә:

- эшче жисемне двигатель аша үткәрү өчен насос югалтулары;

-двигательдәге агрегатларны йөрткечләр: газ бүлү механизмы, жиллэткеч насослары һәм башкалар;
 -пешкәк-цилиндр ышкылуларында, шулай ук подшипниклар-
 да югалтулар.

Күп двигательләрне статик эшкәртеп, бөтен өч өлешне дә гомумиләштерүдән соң эмперик бәйлелек белән файдаланыр-
 га мөмкин. Югалтуларны

$$P_m = P_{н.й.} + P_{ышк} \quad (2.29)$$

бүлөп карау дәрәжә булып.

Насос йөрешләренен югалтулары

$$P_{н.й.} = P_r - P_a$$

Өрдәртү очрагында $P_a > P_r$ һәм формаль рәвештә $P_{н.й.} < 0$ да булып чыгарга мөмкин. Димәк, бу очракта кертүдәге ба-
 сым турбокомпрессорның турбинасына тапшырыла торган
 файдалы эш башкара.

Механик югалтуларны эмперик формулалар буенча исәп-
 ләргә була (тулысынча лекция курсында бирелгән):

- бензин двигательләре өчен $S/D < 1$ булганда

$$P_m = 0,034 + 0,0113 c_n;$$

- бүленмәгән яну камерасы булган дизельләр өчен

$$P_m = 0,013 + 0,0118 c_n.$$

Механик файдалы эш коэффициенты $\eta_m = \frac{P_i - P_m}{P_i}$.

26 нчы таблица

Двигательләр	бензин белән	газ белән	өрдәртүсез дизельләр	өрдәртүле дизельләр
η_m	0,7...0,85	0,75...0,8	0,75...0,8	0,85...0,92

2.9. ЭЧКЕ ЯНУЛЫ ДВИГАТЕЛЬНЕН ЭФФЕКТИВ КУРСӘТКЕЧЛӘРЕ

Уртача эффектив басым

$$P_e = P_i - P_m. \quad (2.30)$$

Ягулыкның эффектив чагыштырма тотылуы

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} \quad (2.31)$$

Эффектив файдалы эш коэффициенты

$$\eta_e = \eta_i \eta_m \quad (2.32)$$

Дүрт тактлы двигательнең номиналь режимда эффектив егәр-
леге

$$N_e = \frac{p_e V_h i n}{120}, \text{ KBm} \quad (2.33)$$

Һәм ике тактлы двигательнең

$$N_e = \frac{p_e V_h i n}{60}, \text{ KBm}, \quad (2.34)$$

монда:

- V_h - бер цилиндрның эш күләме, литрда;
- i - цилиндрлар саны;
- n - терсәкле валның әйләнү ешлығы (әйл /минут).

Ягулыкның сәгатькә тотылуы

$$G_T = N_e g_e.$$

Эффектив бөтерүче момент

$$M_e = 9554 \cdot \frac{N_e}{n}, \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Курс проектында исәпләү бер генә номиналь режимда алып барыла. Әмма максималь кыйммәткә M_e шактый кечкенә-рәк әйләнешләр булганда ирешә. Билгели торган исәпләмәдә исәпләргә мөмкин $M_{e \max} = M_{e \text{ ном}} \cdot K_n$.

27 нче таблица

двигатель	ВАЗ	М-412	451 М	ЗМЗ 4022	ЗИЛ-130	КамАЗ
K_n	1,22	1,2	1,26	1,17	1,22	1,22

2.10. ТӨП ГЕОМЕТРИК ПАРАМЕТРЛАР

Әгәр дә биремдә номиналь егәрлек, цилиндрның әйләнешләрә һәм микъдары күрсәтелсә, ул чагында дүрттактлы двигательнең литражы

$$V_l = \frac{120N_e}{p_e \cdot n}, \text{ литр},$$

әгәр дә N_e - КВт, p_e - МПа, n - әйл/минут.

Цилиндрның эш күләме

$$V_h = \frac{V_l}{i}, \text{ см}^3,$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi K}}, \text{ см},$$

монда i - цилиндрлар саны, $K = \frac{S}{D}$;

- бензин двигательләрә өчен $K = 0,7...1,0$;

- дизельләр өчен $K = 1,0...1,15$.

Шуннан соң нормаль рәт үлчәмнәрәненә якындагы кыйммәтә сайлап алына, цилиндрның эш күләме кыйммәтеннән чыгып, пешкәкнең йөрешә исәпләнә:

- бензин двигательләрә өчен

$$S \leq \frac{14,5 \text{ м/с} \cdot 30}{n},$$

- дизельләр өчен

$$S \leq \frac{12 \text{ м/с} \cdot 30}{n},$$

монда n - әйл/мин.

2.11. ТЫШКЫ ТИЗЛЕК ХАРАКТЕРИСТИКАСЫНЫҢ ТӨЗЕЛЕШЕ

Жиңел ягулык кулланучы двигательләр өчен ТТХ төзелешә. Жиңел ягулык кулланучы двигательләр өчен ТТХ (600...1000) нән $1,25 n_{\text{ном}}$ гә кадәр әйләнеш интервалында төзелә

$$N_{ex} = N_{e.ном} \frac{n_x}{n_{ном}} \left[1 + \frac{n_x}{n_{ном}} - \left(\frac{n_x}{n_{ном}} \right)^2 \right] ; \quad (2.35)$$

$$M_{ex} = 9554 \frac{N_{ex}}{n_x} ;$$

$$g_{ex} = g_{e.ном} \left[1,2 - 1,2 \frac{n_x}{n_{ном}} + \left(\frac{n_x}{n_{ном}} \right)^2 \right] ; \quad (2.36)$$

$$G_{Tx} = g_{ex} N_{ex} ,$$

монда:

- n_x - әйләнү ешлығының агымдағы кыйммәте, *әйл/мин*;
- $n_{ном}$ - номиналь режимда әйләнү ешлығы, *әйл/мин*;
- N_{ex} - егәрлекнең агымдағы кыйммәте, *КВт*;
- M_{ex} - бөтерүче моментның агымдағы кыйммәте, *Н · м* ;
- g_{ex} - ягулыкның эффектив чагыштырма тотылуының агымдағы кыйммәте, *кг/КВт·сәг*;
- G_{Tx} - бер сәгатытә яндырылган ягулыкның агымдағы кыйммәте, *кг/сәг*.

Бүленмәгән яну камерасы булган дизельләр өчен ТТХның төзелеше.

ТТХ (500...800)нән $n_{ном}$ гә кадәр булган әйләнеш интервалында төзелә.

$$N_{ex} = N_e \frac{n_x}{n_{ном}} \left[0,87 + 1,13 \frac{n_x}{n_{ном}} - \left(\frac{n_x}{n_{ном}} \right)^2 \right] ; \quad (2.37)$$

$$M_{ex} = 9554 \frac{N_{ex}}{n_x} ; \quad (2.38)$$

$$g_{ex} = g_{e.ном} \left[1,55 - 1,55 \frac{n_x}{n_{ном}} + \left(\frac{n_x}{n_{ном}} \right)^2 \right] ; \quad (2.39)$$

$$G_{Tx} = g_{ex} N_{ex}.$$

2.12. ИНДИКАТОРЛЫ ДИАГРАММАНЫҢ ТӨЗЕЛЕШЕ

Диаграмманы двигательнең номиналь режимында төзергә кирәк. Диаграммаларның масштабларын билгеләргә:

- пешкәкнең йөреше өчен – яисә 1:1, яисә 1 мм диаграммада - 0,5 мм пешкәкнең йөреше (әгәр дә пешкәкнең йөреше 100 мм дан ким икән) ;
- басым өчен – яисә 1 мм диаграммада 0,05 МПа (бензин двигателе), яисә 1 мм 0,08...0,1 МПа (дизель очрагында).

Цилиндрның эш күләме

$$AB = V_h = S/M_s,$$

монда

- M_s – пешкәк йөрешенең масштабы,
- S - пешкәкнең йөреше.

Яну камерасының күләме

$$A = V_a = \frac{AB}{\varepsilon - 1},$$

монда ε - кысу дәрәжәсе.

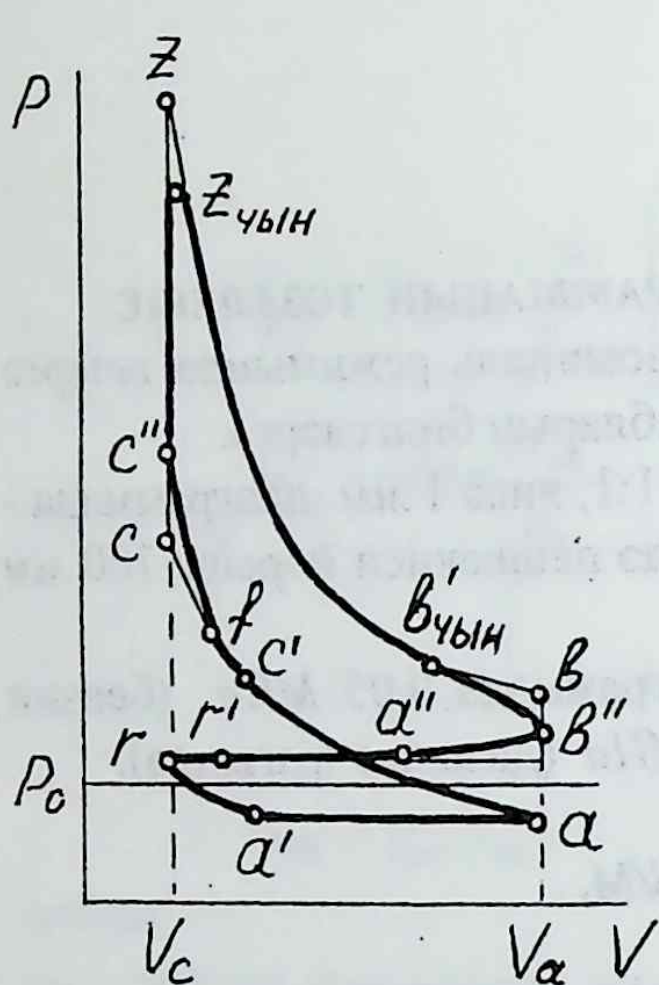
Өске тукталыш ноктасының (ӨТН) линиясе буенча диаграмманың максималь биеклеген (z ноктасы)

$$p_z/M_p,$$

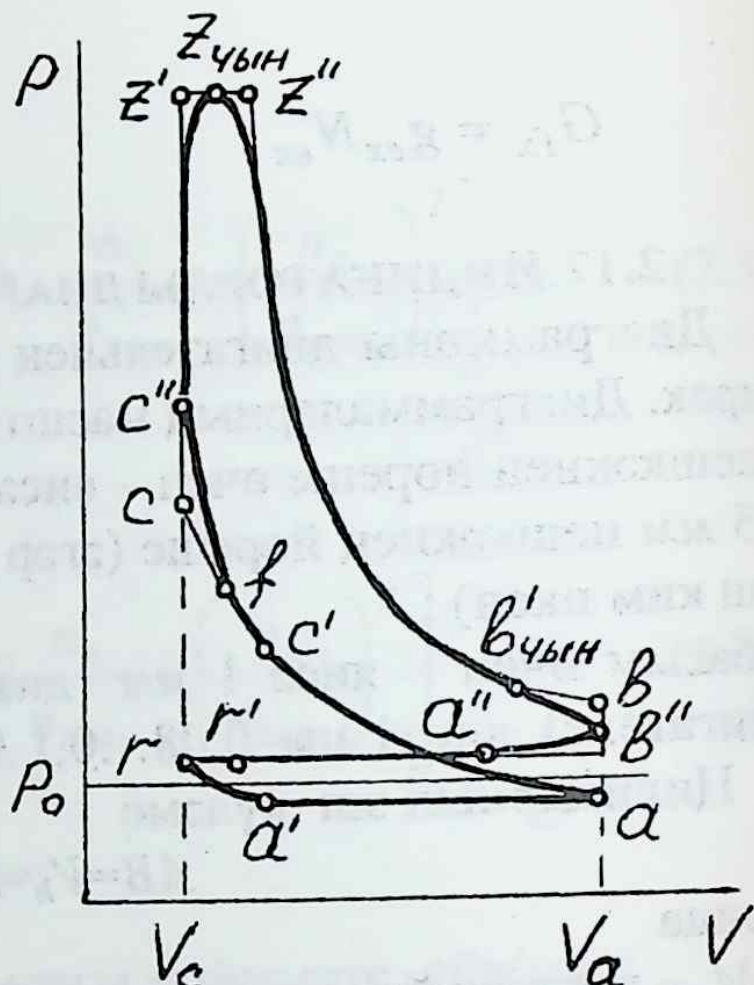
монда

- p_z - яну басымының кыйммәте,
- M_p - басымның масштабы - МПа/мм.

Индикаторлы диаграмма яссылыгында жылылык исәпләмәсеннән алынган характерлы нокталар китерелә: c , z - бензин двигательләрендә (z' , z'' -дизель двигательләрендә), v , r , a . Атмосфера басымы p_o абциссага карата параллель сызык итеп сызыла һәм r , a нокталарыннан үткәреп тагын абциссага карата ике параллель сызык сызыла. Килеп чыккан нокталарны шома сызыklar ясап тоташтыралар һәм барлыкка килә теоретик (термодинамик) индикаторлы диаграмма.



Бензин двигателенен
индикаторлы диаграммасы



Дизельнен индикаторлы
диаграммасы

51 нче рәсем.

Индикаторлы диаграмманың төзелеше

Реаль (чын) индикаторлы диаграмма төзегәндә теоретик индикаторлы диаграммада чын двигательнен үзенчәлекләреннән (28нче таблица) чыгып түбәндәге нокталар урнаштырыла:

- r' - кертү клапанының ачылуы;
- a' - кертү клапанының ябылуы;
- $b'_{\text{чын}}$ - чыгару клапанының ачылуы;
- a'' - чыгару клапанының ябылуы;
- c' - очкын (бөркү) бирү почмагы;
- f - ягулык янып китүнең тоткарлануы.

Һәм тагын кирәкле нокталарны урнаштырыла:

- c'' - $p_{c'} = (1,15 \dots 1,25) p_c$;
- $z_{\text{чын}}$ - бензин двигательләрендә $p_{z_{\text{чын}}} = 0,85 p_z$, дизель двигательләрендә $z_{\text{чын}}$ ноктасы z' , z'' нокталарының арасына урнаштырыла;

- ϕ'' – диаграммада r ноктасыннан үткөрөлгән сызык АТН сызыгы белән килеп кушыла һәм нокта барлыкка килә. Бу нокта белән ϕ ноктасы арасына ϕ'' ноктасы урнаштырыла. Тагын килеп чыккан нокталарны шома сызыклар ясап тоташтыралар һәм барлыкка килә реаль (чын) индикаторлы диаграмма.

28 нче таблица

Двигательләр	$n_{ном.}$ әйл/мин	Кертү клапаны		Чыгару клапаны		Клапаннар ның почмак фазалары		Клапаннарның ачык чагы
		ӨТН га кадәр ачылу	АТН дан соң ябылу	АТН га кадәр ачылу	ӨТН дан соң ябылу	Кер- түнеке	Чыгару- ныкы	
ЗИЛ-130	3200	31	83	67	47	294	294	78
ЗИЛ-375	3200	16	71	52	35	267	267	51
ЗМЗ-53	3200	24	64	50	22	268	252	46
ГАЗ-21	4000	24	64	58	30	268	268	54
ВАЗ-2101	5600	12	40	42	10	232	232	22
АЗЛК-412	5800	27	65	75	18	272	273	45
ЯМЗ-238	2100	20	46	66	20	246	266	40
КамАЗ-740	2600	13	49	66	10	242	256	23

2.13. КИНЕМАТИК ҺӘМ ДИНАМИК ЙӨКЛӘНЭШЛӘРНЕҢ ТӨЗЕЛЭШЛӘРЕ

Кинематиканы исәпләләндә лекция курсында үткәнне §1.13
искә төшерергә кирәк буласак. Биредә:

күчеш
$$S(\varphi) = R[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)],$$

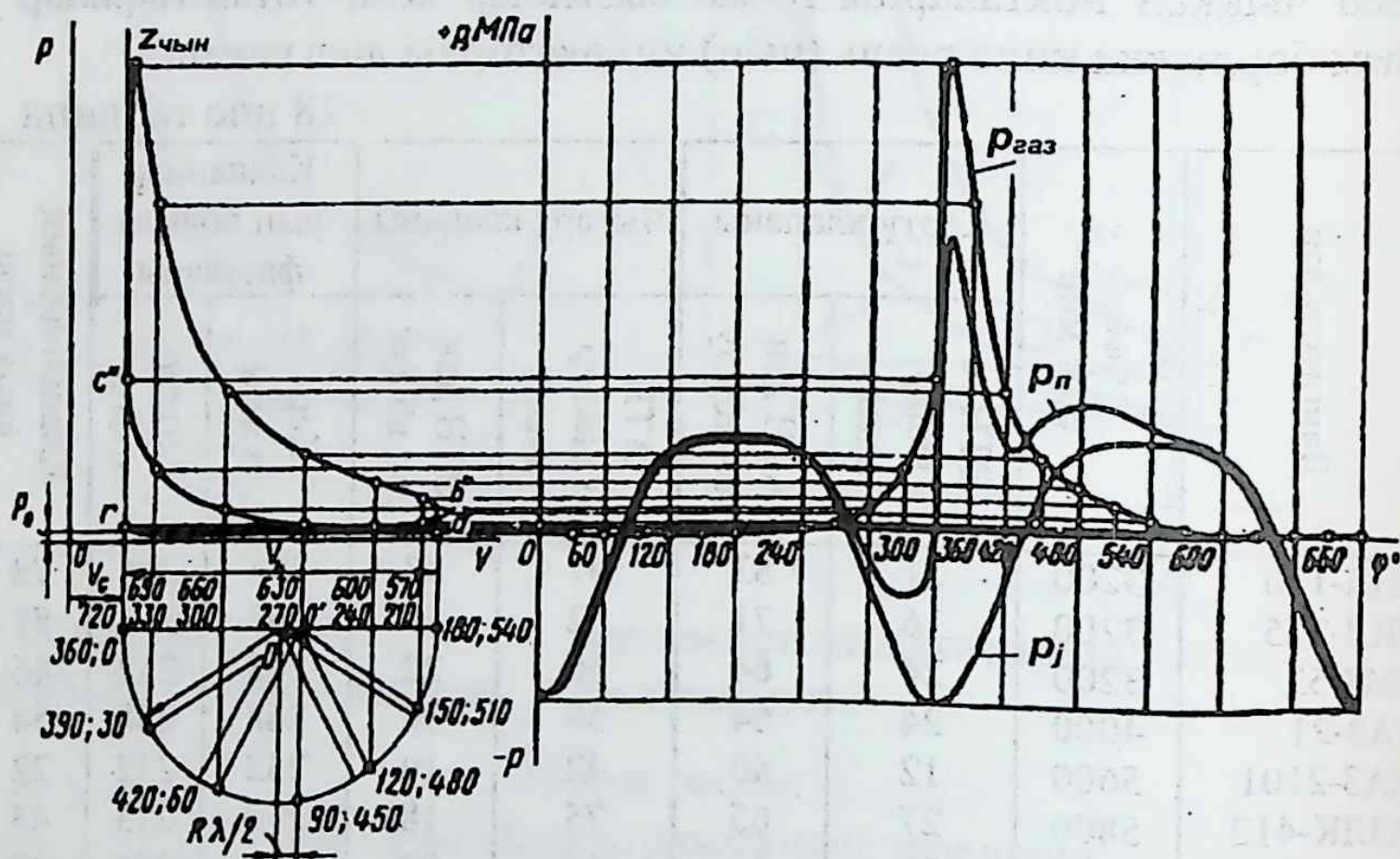
тизлек
$$V(\varphi) = \omega R(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2}\sin 2\varphi),$$

тизләнеш
$$j(\varphi) = R\omega^2(\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi).$$

Күчешнең, тизлекнең һәм тизләнешнең графиклары төзелә.
Двигательдә хәрәкәт итүче көч һәм моментлар исәпләмәсе
өчен $p_{газ} = p(\varphi)$ бәйлеләген алырга кирәк. Бирелгән уку әсба-
бында Брикс методикасы буенча индикаторлы диаграмманың

жәелдерелгән алымы кулланыла (52 нче рәсем). Монда $p_{\text{газ}} = p(\varphi)$ бәйлелеген төзөгәндә Брикс төзәтмәсе кулланыла

$$\frac{S\lambda}{4} = \frac{R\lambda}{2}$$



52 нче рәсем.

Кире кайтма-алга баручы массаның инерция көче

$$P_j = -m_{\kappa-a} \cdot j, \text{ МН.} \quad (2.40)$$

Пешкәк бармакчасы күчәрләренә карата массаның тизләнүе

$$j = R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi),$$

$$P_j = -m_{\kappa-a} \cdot R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi),$$

монда $m_{\kappa-a} = m_{\text{пешк}} + m_{\text{шат.к.-а.}}$; $R = \frac{S}{2}$; $\omega = \frac{2\pi n}{60}, 1/\text{с.}$

Бармакча һәм божралар белән пешкәкнең массасы

$$m_{\text{пешк.}} = m'_{\text{пешк.}} F_{\text{пешк.}},$$

монда $F_{\text{пешк.}} = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2$, ә $m'_{\text{пешк.}}$ кыйммәте 29 нче таблицада

күрсәтелгән.

29 нчы таблица

Двигатель	Алюминий эретмәсе пешкәкнең чагыштырма массасы, $m'_{пешк.}$
бензин һәм газ	$100 \pm 20 \text{ кг/м}^2$
дизель	$250 \pm 50 \text{ кг/м}^2$

Кире кайтма-алга баручы (к-а) массаны шатун массасыннан аерып чыгаралар

$$m_{шат.к.-а.} = (0,25 \dots 0,275) m_{шат.}$$

Чүкелгән корыч шатуннарның массасы

$$m_{шат} = m'_{шат} F_{пешк.}$$

30 нчы таблица

Двигатель	Шатунның чагыштырма массасы, $m'_{шат}$
бензин һәм газ	$150 \pm 50 \text{ кг/м}^2$
дизель	$350 \pm 50 \text{ кг/м}^2$

Шулай итеп, пешкәккә тәэсир иткән көчләр

$$P_n = P_{газ} + P_j, \text{ МН} \quad (2.41)$$

монда $P_{газ}$ – пешкәккә тәэсир иткән газ көче

$$P_{газ} = (p_{газ} - p_0) F_{пешк.}, \text{ МН}$$

$p_{газ}$ - индикаторлы диаграмма буенча, $p_0 = 0,1013 \text{ МПа}$.

Жәелдерелгән индикаторлы диаграммада $p_{газ} = p(\varphi)$ төзелә:

$$- p_j = P_j / F_{пешк.}, \text{ МПа}$$

$$- p_n = (P_{газ} - P_j) / F_{пешк.}, \text{ МПа.}$$

Динамик йөкләнешләрне төзегәндә пешкәккә тәэсир итүче көч $P_n = P_{газ} + P_j$ МНда төзелә (53 нче рәсем).

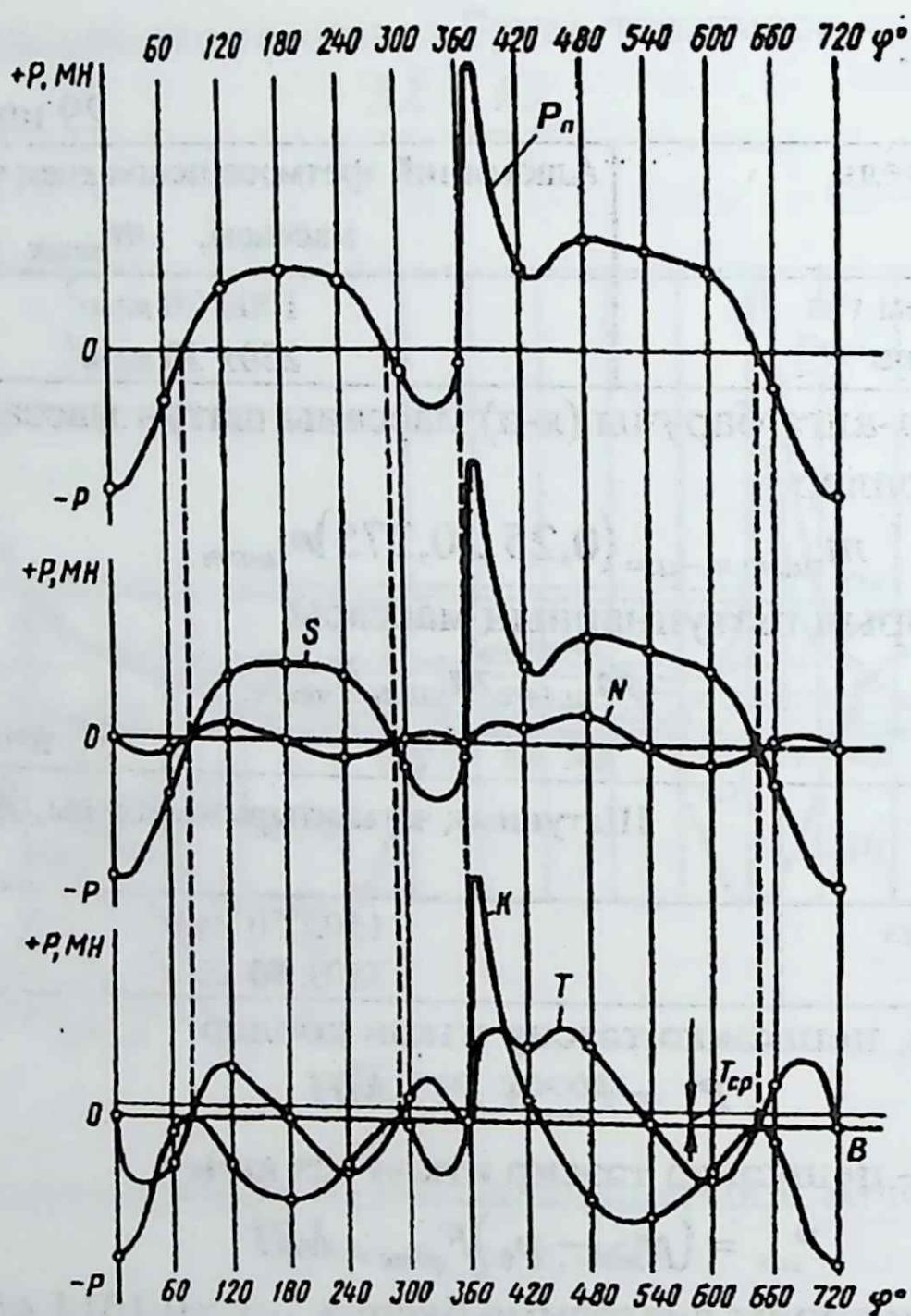
Пешкәккә хәрәкәт итүче көч P_n пешкәк бармакчасында икегә таркала:

- цилиндр күчәренә перпендикуляр булган нормаль көчкә

$$N = P_n \cdot \operatorname{tg} \beta, \text{ МН} \quad (2.42)$$

- һәм шатунның күчәре буенча юнәлгән көчкә

$$S = P_n / \cos \beta, \text{ МН.} \quad (2.43)$$



53 нче рәсем

$\operatorname{tg} \beta = f(\varphi)$ һәм $1/\cos \beta = f(\varphi)$ функцияләре [1,2] таблица-ларында күрсәтелгән, монда φ - терсәкле валның борылыш почмагы.

Шатун күчәре буенча юнәлгән көч S шатун муенчасында икегә таркала:

- кривошип радиусына карата тангенциаль көчкә

$$T = P_n \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ MN}, \quad (2.44)$$

— һәм кривошипның радиусы буенча юнәлгән көчкә

$$K = P_n \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ МН.} \quad (2.45)$$

$$\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = f(\varphi) \text{ һәм } \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = f(\varphi) \text{ функцияләре [1,2]}$$

таблицаларында күрсәтелгән.

2.14. ҮЗГӘРҮЧӘН ЙӨКЛӘНЭШНЕ ИСӘПКӘ АЛЫП ДЕТАЛЬЛӘРНЕ ЧЫДАМЛЫЛЫККА ИСӘПЛӘУ

2.14.1. Гомуми таләпләр

«Материаллар каршылыгы» курсында чыдамлылыкка исәпләмәләрнең методикасы сурәтләнгән. Таблицаларда һәм графикларда конструкциягә караган материалларның характеристикалары бирелгән. Аларны алу өчен стандарт йөкләнешләр белән бирелгән бөгелешләргә, сузылу-кысылуларга (симметрияле цикл), берьяклы бөгелешләргә, кысылуларга гына яки сузылуларга гына (пульслаучы цикл), бөтерүләргә стандарт үрнәкләрен сынау үткәрелә.

Материалның характеристикаларын алалар:

$$\sigma_{\sigma}, \sigma_{\tau}, \sigma_{-1}, \sigma_{-1p}, \tau_{\sigma}, \tau_{\tau}, \tau_{-1}, \tau_{-1p}.$$

Деталь ул стандарт үрнәктән термохимик эшкәртү белән дә, механик эшкәртү белән дә (тишемнәр, уемнар, галтельләр, сырлар һәм башкалар) һәм өслекнең чиста эшкәртелүе белән дә аерылып тора. Димәк, детальләрдә саналып үткән аерымлыкларны исәпкә алмыйча, материал үрнәгенен үзлегә шул ук материалның үзлегенә күчерелә алмый.

Материалларның каршылыгында симметрияле цикл өйрәнелгән. Димәк, ирекле чын циклы бердәй куркынычлы симметрияле циклга китерә белергә кирәк була. Моның өчен α_{σ} һәм α_{τ} ларны берләштерү коэффициентлары кертеләләр, алар конструкцион материалның чыдамлылык чикләренә бәйле булалар.

$\sigma_s, \text{МПа}$	Бөгелеш α_σ	Сузылу-кысылу α_σ	Бөтерү α_τ
350...450	0,06...0,10	0,06...0,08	0
450...600	0,08...0,13	0,07...0,10	0
600...800	0,12...0,18	0,09...0,14	0...0,08
800...1000	0,16...0,22	0,12...0,17	0,06...0,10
1000...1200	0,20...0,24	0,16...0,20	0,08...0,16
1200...1400	0,22...0,25	0,16...0,23	0,10...0,18
1400...1600	0,25...0,30	0,23...0,25	0,18...0,20

Арыганлык чиген (бөгелеш яисә бөтерү ярдәмендә) агучанлык чигенә мөнәсәбәтен характерлаучы конструкцион материаллар үзлекләренә өстәмә билгеләре кертелә

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_T}; \beta_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_T}$$

Һәм циклның характеристикалары: циклда σ_m көчәнешнең урта кыйммәте һәм циклда σ_a – көчәнешнең амплитудасы кертелә. Аларның мөнәсәбәтен цикл характерлый. Әгәр дә

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma}$$

булса, ул вакытта исәпләүдә детальнең конструкцион материалының арыганлык чиге кабул ителә. Әгәр дә

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} < \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma}$$

булса, исәпләү агучанлык чиге буенча үткәрелә.

Чын детальнең чыдамлыгына аның үлчәмнәре, өслегендә эшлängән бизәкләр, сырлар, уемнар, тишемнәр, аның бер үлчәмнән икенче үлчәмгә күчүнең тәэсир итүе түбәндәге коэффициентлар белән исәпләнә:

1. Көчәнеш концентрациясенә коэффициентлары

$$\alpha_{\kappa\sigma}, K_\sigma \text{ (яки } K_\tau \text{)}.$$

2. Масштаб коэффициенты ε_m .

Конструкция материалларның механик үзлекләре, МПа да
32 нче таблица

материал	σ_b	σ_T	σ_{-1}	σ_{-1p}	τ_T	τ_{-1}	$\sigma_{T\text{ усл}}$
20Г	480...580	480	250	180	170	90	-
25	430...550	240	190	-	-	-	-
30	480...600	280	200...270	170...210	170	110	-
35Г2	680...830	370	260	190	240	160	-
45	600...750	340	250...340	190...250	220	-	300
45Г2	700...920	420	310...400	210	260	180..220	420
40Х	750...1050	650...950	320...480	240...310	-	210...260	280
40ХН	1000...1450	800..1300	460...600	320...420	390	240	-
50Г	650...850	370	290...360	-	-	-	-
12ХН3А	950...1400	700..1100	420...640	270...320	400	220...300	-
18ХН3А	1150...1400	850..1200	540...620	360...400	550	300...360	-
СЧ 28-48	280	-	140	-	-	110	-
СЧ 38-60	380	-	150	-	-	115	-
ВЧ 40-10	400	-	-	-	-	-	-
ВЧ 60-2	600	-	-	-	-	-	-
КЧ 45-6	450	-	-	-	-	-	-

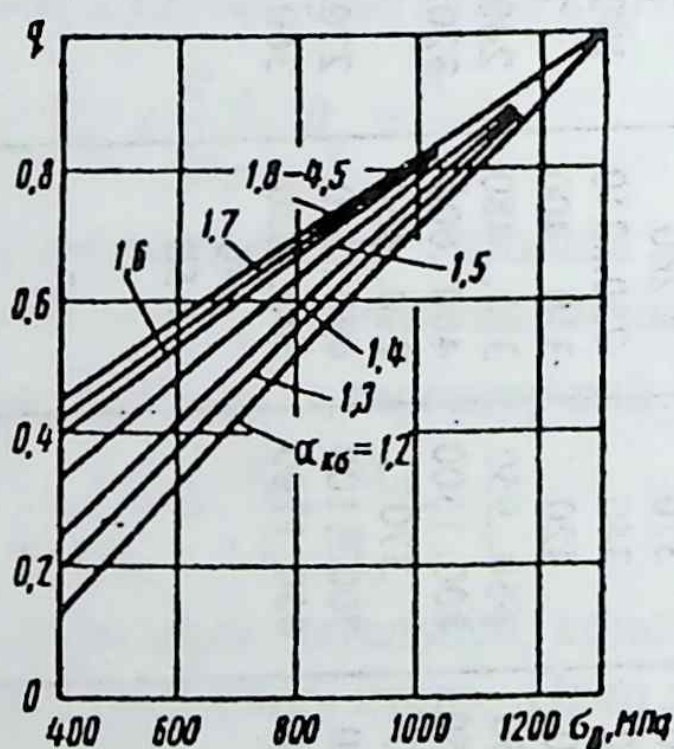
3. Өстән сизгерлек коэффициенты ε_n .

Көчәнеш концентрациясенен теоретик коэффициенты көчәнешнең гамәлдәге кыйммәте бирелгән киселештә номиналь исәпләнгәндә караганда күпме тапкыр күбрәк икәннен күрсәтә. Төрле конструкцион материаллар көчәнеш концентраторларына карата төрлечә сизгерлектә булалар

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{k\sigma} - 1), \quad K_{\tau} = 0,5K_{\sigma},$$

монда q – сизгерлек коэффициенты, конструкцион материалның чыдамлылык чикләренә бәйле.

Ул вакытта максималь көчәнеш тигез куркыныч симметрияле циклда түбәндәге зурлыklarга ирешер



54 нче рәсем

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_a K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \varepsilon_n} + \sigma_m;$$

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_a K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \varepsilon_{n\tau}} + \tau_m.$$

Сузылу-кысылу йөкләнеше $\frac{\sigma_a}{\sigma_m} > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\tau}{1 - \beta_\sigma}$ булган очракта, чыдамлылык запасы түбәндәгечә исәпләнә

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ak} + \alpha_\sigma \sigma_m} ; \quad (2.46)$$

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{ak} + \alpha_\tau \tau_m} ;$$

$$\sigma_{ak} = \frac{\sigma_a K_\sigma}{\varepsilon_m \varepsilon_n} ;$$

33 нче таблица

Көчәнешнең концентраторы	$\alpha_{\kappa\sigma}$
Кырылу радиусының вал диаметрына чагыштырганда валда ярымтүгәрәк кырылу	
0,1	2,0
0,5	1,6
1,0	1,2
2,0	1,1
Галтель радиусының вал диаметрына чагыштырганда галтель	
0,0625	1,75
0,125	1,5
0,25	1,2
0,5	1,1
Туры почмак астында аралык (галтельдән башка)	2,0
Кискеч ясаган резьба	4-0,5
Тәгәрәтелгән резьба	2,0
Стерженьда тишем	2,5-0,5
Деталь өслегендә кискеч ясаган рәсемнәр	1,3-0,1

$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} < \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma}$ очрагында чыдамлылык запасы агучанлык чиге буенча исәпләнә

$$n_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ak} + \sigma_m} ; \quad (2.47)$$

34 нче таблица

масштабы коэффициент	Детальләрнең үлчәмнәре, мм ларда							
	10	10..15	15..20	20..30	30..40	40... 50	50...100	100...200
$\varepsilon_{m\sigma}$	1	1,0...0,95	0,95...0,9	0,9...0,85	0,85...0,8	0,8..0,75	0,75..0,65	0,65..0,55
$\varepsilon_{m\tau}$	1	1,0...0,94	0,94...0,88	0,88...0,83	0,83...0,78	0,78..0,72	0,72..0,6	0,6...0,5

35 нче таблица

өслекне эшкөртү	$\varepsilon_{n\sigma} = \varepsilon_{n\tau}$	өслекне эшкөртү	$\varepsilon_{n\sigma} = \varepsilon_{n\tau}$
полировкалау	1	ядрә белән өрдөрү	1,1...2,0
шомарту	0,97...0,85	ролик белән әвәләү	1,1...2,2
чиста үткенләү	0,88...0,6	цементлау	2±0,5
тупас үткенләү	0,88...0,6	чыныкканлык	2±0,8
механик эшкөртүдән башка	0,76...0,5	азотлау	3 кә кадәр

$$n_{T\tau} = \frac{\tau_T}{\tau_{ak} + \tau_m}.$$

Әгәр дә әһәмиятле тигезсезлек ачыклап күрсәтелмәсә, ул вакытта чыдамлылык запасы ике чик буенча да исәпләнелә һәм алар арасынан иң кечкенәсе кабул ителә. Катлаулы көчәнешләр

$$n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}. \quad (2.48)$$

2.14.2. Пешкәк төркемендәге детальләрне исәпләү

Пешкәкнең характерлы үлчәмнәре пешкәкнең диаметры өлешләрендә билгеләнә. Мәсәлән, пешкәкнең биеклегә

$$H=1,1 D.$$

Пешкәк төбенең материалы югары температуралы газлар йогынтысы астында була, шуңа күрә аның үзлекләре үзгәрәп торыр. Бик тә югары жылы йөкләмәләр вакытында материал үзенең чыдамлылыгын югалта һәм пешкәк төбе янып тишеләргә мөмкин. Хәзерге вакытта пешкәкнең температурасын исәпләргә мөмкинлек бирүче ышанычлы математик алымнар (чикле һәм чиктәш элементларның алымнары) бар.

Вакыт буенча чикләүләр аркасында хәзерге проектта бу мәсьәләләр куелмыйлар. Проектта Костинның билгеләү алымы белән файдаланырга мөмкин.

Костин критерие

$$q_n = b C_n^{0,5} \left[\frac{D}{\eta_v P_k} \right]^{0,38} \cdot \left[\frac{P_e g_e T_k}{T_o} \right]^{0,88}, \quad (2.49)$$

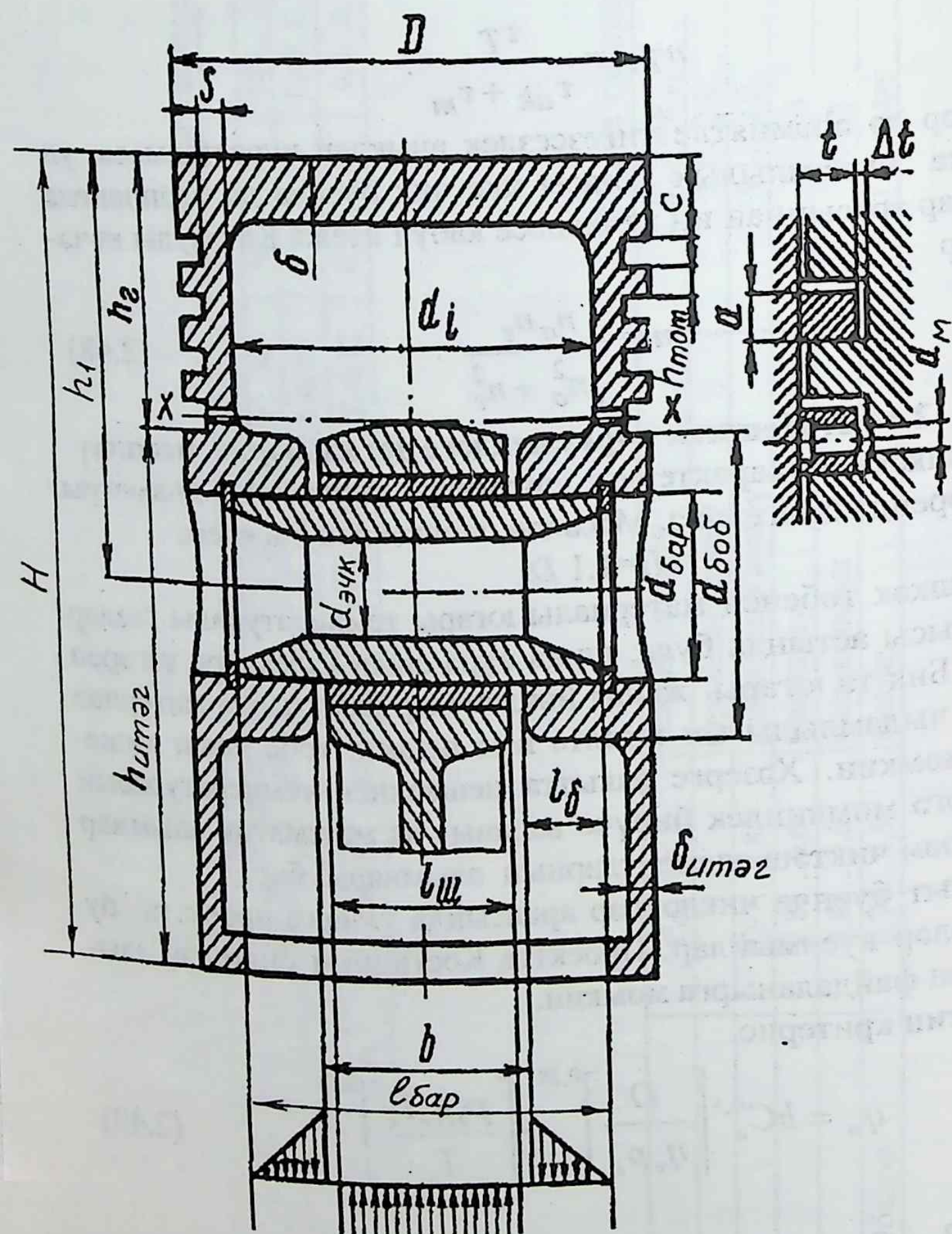
монда

- $b = 4,27$ - бүленмәгән камералы дүрттактлы двигательләр өчен;

- $b = 4,7$ - бүленгән камералы дүрттактлы двигательләр өчен;

- $b = 7,54$ - ике тактлы двигательләр өчен;

- C_n - пешкәкнең уртача тизлегә, м/с;



55 нче рәсем.
Пешкәкнең исәпләмәсе схемасы

36 нчы таблица

Үлчәмнен исеме	Бензин һәм газ двигательләре	Дизельләр
Пешкәкнең биеклеге, H	0,8...1,3	0,8...1,3
Пешкәкнең югары өлешенен биеклеге, h_1	0,45...0,75	0,6...1,0
Пешкәк башының биеклеге, h_2	0,4...0,5	0,4...0,6
Пешкәк төбенен калынлыгы, δ	0,05...0,1	0,12...0,2
Пешкәк бармакчасы бобышкасының диаметры, $d_{\text{боб.}}$	0,3...0,5	0,3...0,5
Беренче пешкәк канавына кадәр ераклык, c	0,06...0,12	0,11...0,2
Беренче божра тоташтыргычының калынлыгы, $h_{\text{тот}}$	0,03...0,05	0,04...0,07
Божраның биеклеге, a	2...4 мм	3...5 мм
Бармакчаның диаметры, $d_{\text{бар}}$	0,22...0,28	0,3...0,38
Бармакчаның эчке диаметры, $d_{\text{эчк.}}$	$(0,65 \div 0,75)d_{\text{бар}}$	$(0,5 \div 0,7)d_{\text{бар}}$
Йөзүче бармакчаның озынлыгы, $\ell_{\text{бар}}$	0,78...0,88	0,8...0,09
Прессланган бармакчаның озынлыгы, $\ell_{\text{бар}}$	0,88...0,93	0,88...0,93
Бобышкалар арасындагы ераклык, b	0,3...0,5	0,3...0,5
Пешкәк башы кырыеның калынлыгы, S	0,05...0,1	0,05...0,1
Божраның радиаль калынлыгы, t : - компрессион - май алына торган	0,04...0,045 0,038...0,043	0,04...0,045 0,038...0,043
Божраның радиаль ярыгы, Δt : - компрессион - май алына торган	0,7...0,9 мм 0,9...1,1 мм	0,7...0,95 мм 0,9...1,1 мм
Май тишеменен диаметры, d_m	$\approx 0,4 \cdot a$	$\approx 0,4 \cdot a$
Пешкәк итәге кырыеның калынлыгы, $\delta_{\text{итәг}}$	1,5...4,5 мм	2...5 мм
Пешкәкнең эчке диаметры, d_i	$D - 2(S + t + \Delta t)$	

- D - цилиндрының диаметры, м;
- p_k - кертү басымы (өрдөртүдөн башка $p_k = p_0$), МПа;
- p_e - уртача эффектив басым, МПа;
- g_e - ягулыкның чагыштырмача тотылуы, кг/КВт·сәг;
- T_k - компрессор артындагы һаваның температурасы (өрдөртүсөз $T_k = T_0 = 293$ К).

Костин критерийен исәпләп чыгарганда:

- $q_n \leq 4$ – суытылмаучы чуен пешкәк;
- $q_n = 4...6$ – алюминий эретмәле суытылмаучы пешкәк;
- $q_n = 6...8$ – форсунка ярдәмендә сиптерү юлы белән пешкәк төбенен май белән суынуы;
- $q_n = 8$ – май пешкәктә ясалган махсус каналларда әйләнеп йөрөп пешкәкнең суытылуы;
- 8 дән югары – пешкәк төбен саклауның перспектив алымнары, шул исәптән биметалл пешкәкләр, керамика кушылып эшләнгән пешкәкләр.

2.14.2.1. Пешкәк төбен бәяләүче исәпләмә

Пешкәк төбе максималь газ көчләре тәэсиреннән бөгелүгә исәпләнә. Исәпләмәнең модели: стаканга урнаштырылган тигез рәвештә йөкләнгән түгәрәк пластинаның бөгелүе. Максималь бөтерүче момент режимында газ көчләре максимумга ирешә.

Бирелгән курс проектында жылылык исәпләмәсе номиналь режим өчен генә үтәлә икән, билгеләүче исәпләмәдә пешкәк төбен кабул итәргә кирәк:

$$p_{z \text{ усән}} \cong 1,3 p_{z \text{ ном}} \quad (2.50)$$

бөгелешле көчәнешләр (материаллар каршылыгы методикасын кара)

$$\sigma_{бөг} = M_{бөг} / W = p_{z \text{ усән}} \left(\frac{r_i}{\delta} \right)^2 \quad (2.51)$$

монда p_z *исән* МПа дә, ә δ - пешкәк төбенен калынлыгы һәм $r_i = d_i / 2$ - пешкәкнең эчке радиусы, метрда.

Алюминий эретмәле пешкәкләр өчен бөгелешнең көчәнеше артмаска тиеш:

- төбөндә каты кабыргалары булмаганда 25 МПа;
- каты кабыргалары белән 150 МПа.

Аннан башка эчке һәм тышкы өстенлекләрдә температураның төрлечә бәйләнгән булулары нәтижәсендә, пешкәкнең төбөндә жылылык көчәнешләре барлыкка килә

$$\sigma_{жыл.} = \alpha \cdot E \cdot q \cdot \frac{\delta}{2\lambda}, \quad (2.52)$$

монда

- δ - пешкәк төбенен калынлыгы, м;
- q - чагыштырма жылылык йөкләмәсе, Вт/м²;
- α - сызыклы киңәюнең коэффициенты, 1/К;
- E - сыгымчалылык модуленең 1 төре, МПа;
- λ - жылыүткәрүчәнлек коэффициенты, Вт/м · К.

Бензинлы (газлы) ЭЯДлар өчен $q = (3,3 \dots 9,5) \cdot 10^5$ Вт/м²;

өрдөртүсез дизельләр өчен $q = (3,5 \dots 7,5) \cdot 10^5$ Вт/м²;

өрдөртүле дизельләр өчен $q = (4,5 \dots 8,5) \cdot 10^5$ Вт/м².

Алюминий эретмәләр өчен

$$\alpha = 22 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К; } E = 0,72 \cdot 10^5 \text{ МПа; } \lambda = 135 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Суммар көчәнешләр

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{бөг.} + \sigma_{жыл.} \quad (2.53)$$

Алюминий эретмәләрдән ясалган пешкәкләр өчен

$$[\sigma_{\Sigma}] < 200 \text{ МПа.}$$

2.14.2.2. Май жибәрә торган тишемнәр киселешендә чыдамлылыкка исәпләү (x — x киселеше)

а) Газ көчләрәннән хасил булган кысылу-көчәнү исәпләмәсе

$$\sigma_{\text{кыс.}} = P_{z \text{ max}} / F_{x-x};$$

$$P_{z \text{ max}} = p_{z \text{ max}} \cdot F_{\text{пешк.}};$$

$$F_{x-x} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_i^2) - n_{\text{тишем.}} \frac{d_k - d_i}{2} d_m, \quad (2.54)$$

монда

- d_k – май алына торган божраның канавы төбе буенча эчке диаметры $d_k = d - 2(t + \Delta t)$ (55 нче рәс. кара);
- d_i – пешкәкнең эчке диаметры (55 нче рәс. кара);
- d_m – майны жибәрә торган тишемнең диаметры, м.

Алюминий эретмэләрдән ясалган пешкәкләр өчен

$$[\sigma_{\text{кыс.}}] < 40 \text{ МПа.}$$

б) Инерция көченнән сузылуға кадәр исәпләү

$$\sigma_{\text{суз.}} = P_j / F_{x-x};$$

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{\text{max}}^2 (1 + \lambda),$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{2\pi n_{\text{max}}}{60},$$

монда $m_{x-x} \cong 0,45 m_n$ дип кабул итәргә,

n_{max} – двигательнең максималь әйләнеше, дизельләр өчен $n_{\text{max}} = n_{\text{ном.}}$, ә бензин һәм газ двигательләре өчен $n_{\text{max}} = (1,25 \dots 1,3) n_{\text{ном.}}$

Алюминий эретмэләрдән ясалган пешкәкләр өчен

$$\sigma_{\text{суз.}} \leq 10 \text{ МПа.}$$

2.14.2.3. Пешкәк итәгендә басым көчен исәпләү

Пешкәк итәгенә һәм бөтен пешкәккә чагыштырма басым:

$$q_1 = N_{\text{max}} / (h_{\text{итәг.}} \cdot D) = N_{\text{max}} / ((H - h_2) \cdot D) < 1 \text{ МПа};$$

$$q_1 = N_{\text{max}} / (H \cdot D) < 0,7 \text{ МПа.}$$

2.14.2.4. Пешкәк божрасын исәпләү

Цилиндр көзгесенә божраның уртача басымын билгеләү

$$p_{ур.} = 0,152E \cdot \frac{A_o / t}{\left[\frac{D}{t} - 1 \right]^3 \frac{D}{t}}, \quad (2.55)$$

монда

- $\frac{D}{t}$ - цилиндр диаметрының божра радиаль калынлыгына ча-

гыштырмасы (55 нче рәсем);

- A_o — ирекле һәм эшче хәлдә бикләвеч ярыгының зурлыгы аермасы ($A_o = (3 \dots 4) \cdot t$);

- E — сыгылмалылык модуле (соры чуен өчен $E = 1 \cdot 10^5$ МПа, легирланган чуен өчен $E = 1,2 \cdot 10^5$ МПа, корыч өчен $E = 2,2 \cdot 10^5$ МПа);

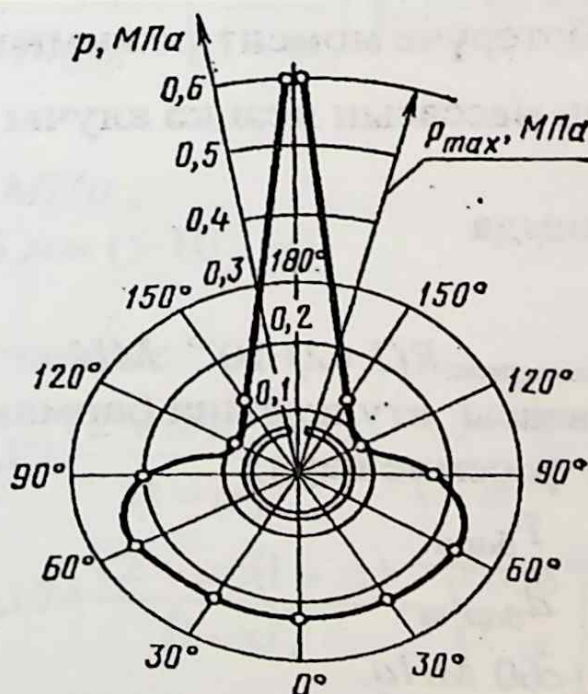
- компрессион божрасы өчен $p_{ур} < 0,37$ МПа;

- май ала торган божра өчен $p_{ур} < 0,4$ МПа.

Божраның стенкага басым эпюрасы ГОСТ белән бирелә.

37 нче таблица

Почмак ψ	0	30	60	90	120	150	180
Мөнәсәбәт $p / p_{ур}$	1,05	1,05	1,14	0,9	0,45	0,67	2,85



56 нче рәсем

Бикләвечкә каршы киселештә бөгелешнәң көчәнеше:

а) эшлэгән вакытта

$$\sigma_{\text{бөг.1}} = 2,61 \cdot p_{\text{ур}} \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2, \quad (2.56)$$

б) пешкәккә кидергән вакытта

$$\sigma_{\text{бөг.2}} = \frac{4E(1 - 0,114A_0/t)}{m(D/t - 1,4) \frac{D}{t}}, \quad (2.57)$$

$m = 1,57$ дип кабул итәргә,

$D > 120$ мм өчен $[\sigma_{\text{бөг}}] < 220$ МПа,

$D < 70$ мм өчен $[\sigma_{\text{бөг}}] < 450$ МПа.

Цилиндр диаметры 70÷120 мм арасында булган очракта,
 $[\sigma_{\text{бөг}}]$ не 450÷220 МПа арасыннан пропорциональ кабул итәргә.

2.14.2.5. Пешкәк бармакчасын исәпләү

Бармакчага гомумиләштерелгән көч тәэсир итә

$$P_{\text{барм}} = p_{z \text{ max}} F_{\text{пешк}} + \kappa P_j. \quad (2.58)$$

Бензин двигательләре өчен:

- $p_{z \text{ max}}$ – максималь бөтерүче момент режимында;

- $\kappa = 0,82$ - бармакчаның массасын исәпкә алучы коэффициент.

Дизельләр өчен:

- $p_{z \text{ max}}$ - номиналь режимда

- $\kappa = 0,75$.

$$P_j = -m_n \omega^2_{\text{исп. реж.}} R(1 + \lambda) \cdot 10^{-6} \text{ МН}.$$

Шатунның өске головки втулкасына бармакчаның чагыштырма басымы (5бнче рәсемне кара)

$$q_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{барм.}}}{d_{\text{бар}} l_{\text{ш}}}, \quad (2.59)$$

$$[q_{\text{ш}}] < 60 \text{ МПа}.$$

Йөзүче бармакчаның бобышкага чагыштырма басымы

$$q_6 = \frac{P_{\text{барм.}}}{d_{\text{бар}} (l_{\text{бар}} - b)}, \quad (2.60)$$

$$[q_6] < 50 \text{ МПа}.$$

Бармакча бөгөлөшөнөң көчөнөшө

$$\sigma_{\text{бөг.}} = P_{\text{барм.}} (l_{\text{бар}} + 2b - 1,5l_{\text{ш}}) / [1,2(1 - \alpha^4)d_{\text{бар}}^3], \quad (2.61)$$

монда $\alpha = \frac{d_{\text{эчк.}}}{d_{\text{бар}}}$ - бармакчаның эчке диаметрының тышкыга

мөнәсәбәте,

$$[\sigma_{\text{бөг.}}] < 250 \text{ МПа}.$$

Бобышка һәм шатун головки арасындагы киселештә кисем көчөнөшө

$$\tau_{\text{кис.}} = 0,85 P_{\text{барм.}} (1 + \alpha + \alpha^2) / [(1 - \alpha^4)d_{\text{бар}}^2], \quad (2.62)$$

легирланган корыч өчен

$$[\tau_{\text{кис.}}] < 250 \text{ МПа}.$$

Бармакчаның овальләшүе

$$\Delta d_{\text{бар}} = \frac{1,35 P_{\text{барм.}}}{El_{\text{бар}}} \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \quad (2.63)$$

монда

$$E = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

$$[\Delta d_{\text{бар}}] < 0,05 \text{ мм } (5 \cdot 10^{-5} \text{ м})$$

Овальләшүнең көчөнөшө

$$\sigma_{\alpha 0} = \frac{15 P_{\text{бар}}}{l_{\text{бар}} d_{\text{бар}}} \left[0,19 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\alpha 90} = - \frac{15 P_{\text{бар}}}{l_{\text{бар}} d_{\text{бар}}} \left[0,174 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i0} = - \frac{15 P_{\text{бар}}}{l_{\text{бар}} d_{\text{бар}}} \left[0,19 \frac{(1 + 2\alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 \alpha} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] \text{ МПа}$$

$$\sigma_{i90} = \frac{15P_{бар}}{l_{бар}d_{бар}} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] МПа$$

$[\sigma] < 350 МПа.$

2.14.3. Шатун төркемендәге детальләрне чыдамлылыкка исәпләү

2.14.3.1. Шатунның өске головкасын исәпләү

Шатунның конструкцион материаллары:

корыч 40;45;45 Г2 - бензин двигательләре,

корыч 40 Х;18 ХНВА;49 ХНМА - дизельләр.

Шатуннар штамплана, полировкалана, вак ядрә белән өрдә-
релә, нормалаштырыла, чыныктырыла һәм жибәрелә.

Инерция көчләре тәсиреннән I-I киселештә (57 нче рәсем)
арыганлык чыдамлылыгын исәпләү.

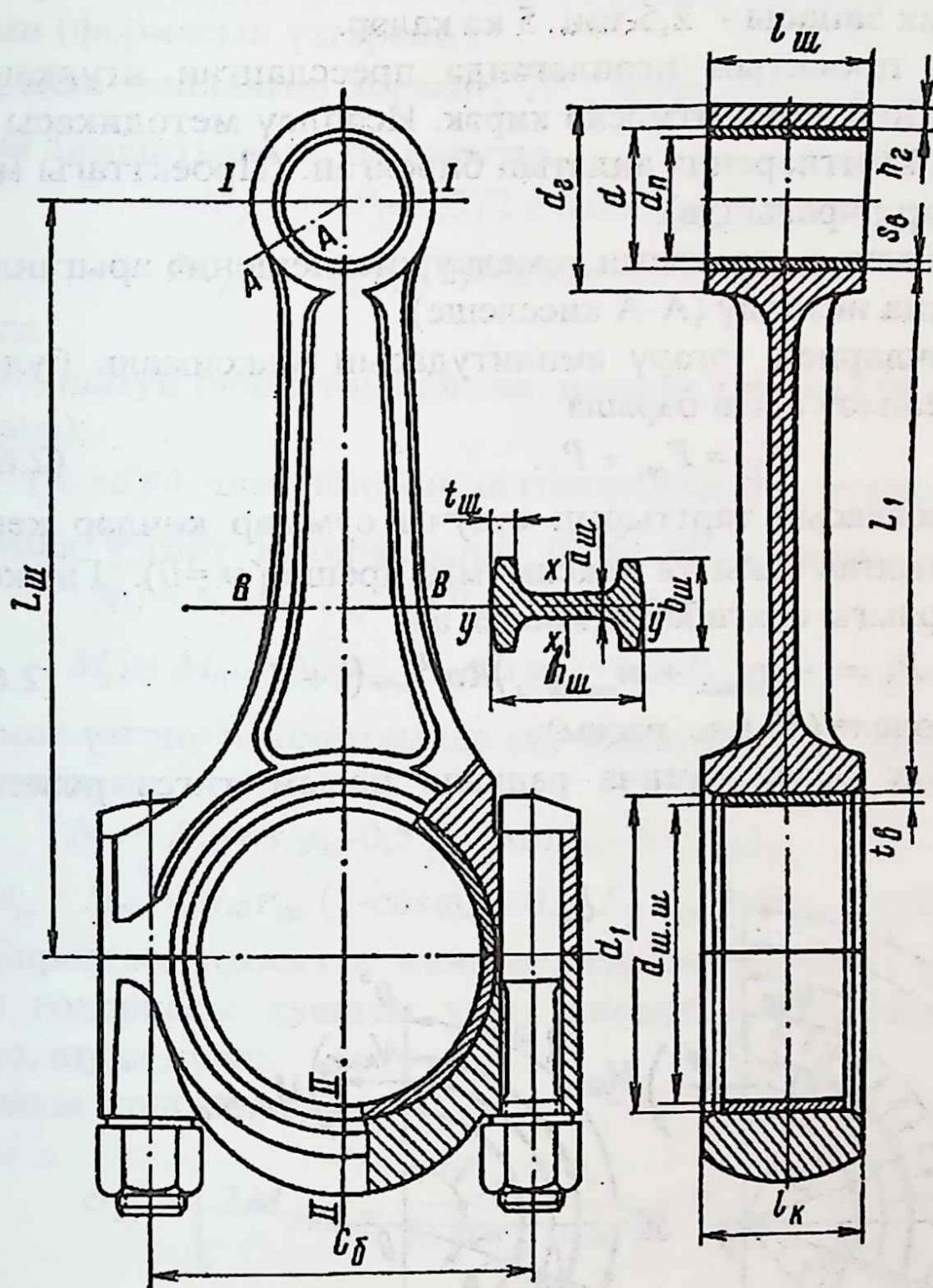
Исәпләү режим –максималь әйләнешләр (дизель өчен номи-
наль режим). Кисем хәрәкәтләнүче массаларның (пешкәк төр-
кеме һәм шатунның өске головкасы) инерция көчләре белән
йөкләнә

$$P_j = -(m_{пешк.} + m_{шат.к-а.}) R \omega_{max}^2 (\cos \varphi + \lambda \cos \varphi),$$

монда $m_{шат.к-а.} = 0,25 \cdot m_{шат.}$, $m_{пешк.}$ һәм $m_{шат}$ исәпләве 2.13
нче бүлектә аңлатып бирелгән.

38 нче таблица

Зурлыгы	Бензин двигательләре	Дизельләр
Втулкадан башка шатунның өске головкасының эчке диаметры	$d \approx d_{барм.}$	$d \approx d_{барм.}$
Втулка белән	$(1,1 \div 1,25) d_{барм.}$	$(1,1 \div 1,25) d_{барм.}$
Шатунның өске головкасы- ның тышкы диаметры	$(1,25 \div 1,65) d_{барм.}$	$(1,3 \div 1,7) d_{барм.}$
Шатунның өске головкасы- ның озынлыгы		
-беркетелгән бармакча	$l_{ш} = (0,28 \div 0,32) D$	$l_{ш} = (0,28 \div 0,32) D$
-йөзүче бармакча	$l_{ш} = (0,33 \div 0,45) D$	$l_{ш} = (0,33 \div 0,45) D$
Втулканың радиаль калынлыгы	$S_b = (0,07 \div 0,015) d_{бар}$	$S_b = (0,078 \div 0,008) d_{бар}$



57 нчы рәсем

Исәпләү кисемендәге көчәнешләр йөкләнешнең пульсацияләү циклы буенча үзгәрә. Максималь кыйммәте

$$\sigma_{\max} = -(m_{\text{пешк.}} + m_{\text{шат.к-а.}}) R \omega_{\max}^2 (1 + \lambda) / (2 h_2 l_{ш}), \quad (2.64)$$

монда h_2 - шатунның өске головкиның радиаль калыңлыгы.

Минималь кыйммәте $\sigma_{\min} = 0$.

Исәпләү методикасы 2.14.1. бүлегендә аңлатып бирелгән.

Чыдамлылык запасы - 2,5 тән 5 кә кадәр.

Әлеге курс проектын исәпләгәндә прессланган втулканың көчәнешенә игътибар итмәскә кирәк. Исәпләү методикасы [1] нең 223, 224 битләрендә аңлатып бирелгән. (Проекттагы махсус биремнәр очрагында).

Шатунның өске головкасын томалау киселешендә арыганлык чыдамлыгына исәпләү (А-А киселеше).

Суммар көчләрнең үзгәрү амплитудасын максималь булган режимда исәпләү алып барыла

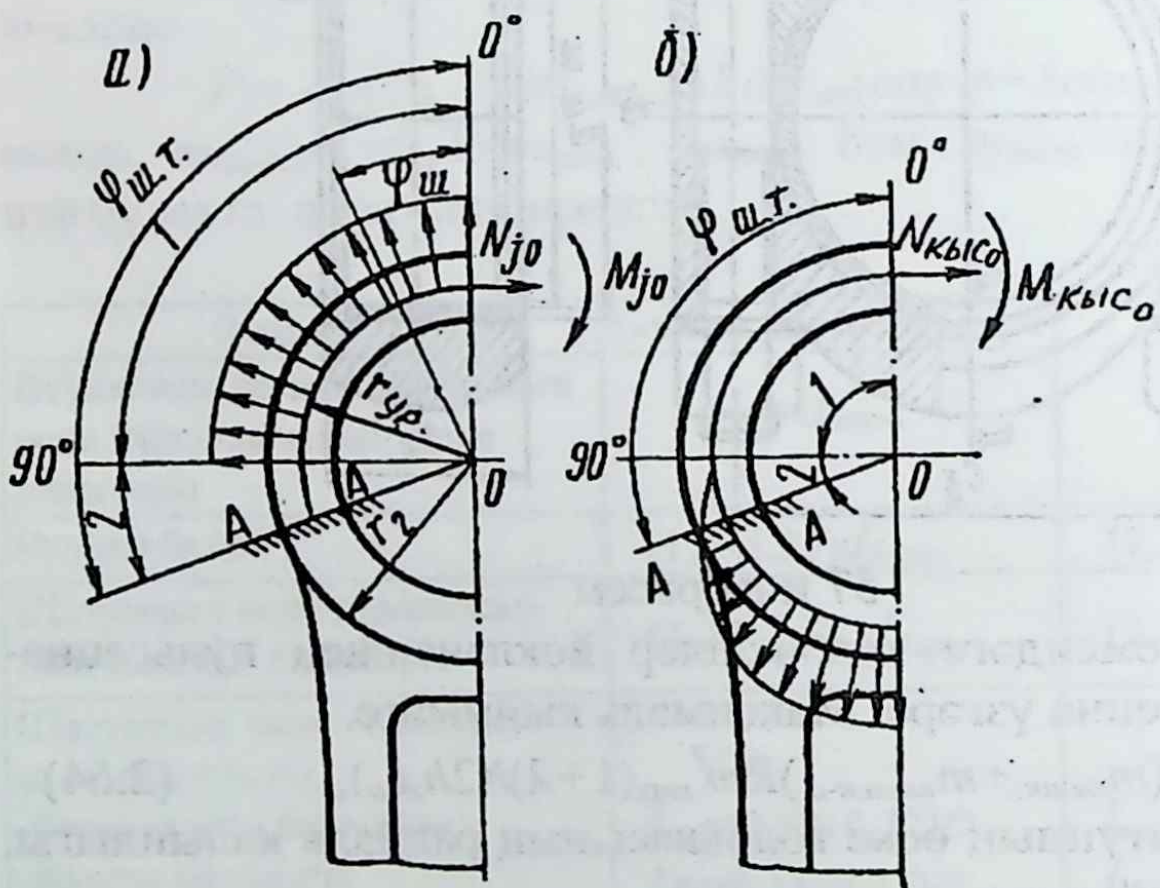
$$P_{\Sigma} = P_{газ} + P_j. \tag{2.65}$$

Шатун головкасын тарттырып сузучы суммар көчләр кертү клапаны ачылган вакытта максимумга ирешә ($\varphi = 0$). Газ көчләрнен зурлыгы игътибар итмәслек аз

$$P_{\Sigma} = -(m_{пешк.} + m_{шат.к-а})R\omega^2_{max}(1 + \lambda). \tag{2.66}$$

Исәпләү моделе (58 нче рәсем):

- бөтен эчке өслек буенча радиаль басым тигез рәвештә бүленә;



58 нче рәсем

- шатунның өске головкасының түбәнге өлеше деформацияләнми (формасын үзгәртми);
- уң якка ташланган хәрәкәт, N_{jo} көче һәм бөгелүче момент белән алмаштырыла, бу вакытта

$$N_{jo} = -P_{\Sigma} (0,572 \pm 0,0008 \varphi_{ш.Т.}) \quad (2.67)$$

$$M_{jo} = -P_{\Sigma} r_{yp} (0,00033 \varphi_{ш.Т.} - 0,0297) \quad (2.68)$$

монда

- $\varphi_{ш.Т.}$ - шатун башы томаланган почмак, (град.) (58 нче рәсемне кара);

- $r_{yp} = (d_r + d)/4$ - шатунның өске головкасының уртача радиусы;

Почмак үзгәрү интервалында 0 дән 90 га кадәр (1 участок)

$$N_{j1} = N_{jo} \cos \varphi_{ш.} - 0,5 P_{\Sigma} (1 - \cos \varphi_{ш.}); \quad (2.69)$$

$$M_{j1} = M_{jo} + N_{jo} r_{yp.} (1 - \cos \varphi_{ш.}) + 0,5 P_{\Sigma} r_{yp.} (1 - \cos \varphi_{ш.}). \quad (2.70)$$

Почмак үзгәрү интервалында $\varphi_{ш.} = 90$ нан алып $\varphi_{ш.Т.}$ кадәр (2 участок)

$$N_{j2} = N_{jo} \cos \varphi_{ш.} - 0,5 P_{\Sigma} (\sin \varphi_{ш.} - \cos \varphi_{ш.}); \quad (2.71)$$

$$M_{j2} = M_{jo} + N_{jo} r_{yp.} (1 - \cos \varphi_{ш.}) + 0,5 P_{\Sigma} r_{yp.} (\sin \varphi_{ш.} - \cos \varphi_{ш.}). \quad (2.72)$$

Бирелгән проектта көчәнешнең кыйммәтен шатунның өске головкасы куелган урын киселешендә исәпләү таләп ителә, шуңа күрә:

- тышкы жепселләрдә

$$\sigma_{aj} = \left[2M_{j\varphi_{ш.Т.}} \frac{6r_{yp.} + h_r}{h_r(2r_{yp.} + h_r)} + N_{j\varphi_{ш.Т.}} \right] \frac{10^{-6}}{l_{ш} h_r};$$

- эчке жепселләрдә

$$\sigma_{ij} = \left[-2M_{j\varphi_{ш.Т.}} \frac{6r_{yp.} + h_r}{h_r(2r_{yp.} + h_r)} + N_{j\varphi_{ш.Т.}} \right] \frac{10^{-6}}{l_{ш} h_r}.$$

Киңәю башында терсәкле вал якынча 10...15 градуска борылгач, кысучы көч максимумга ирешә. Ләкин якынча исәплиләр

$$P_{кыс.} = (p_z - p_o) F_{нешк.} - (m_{нешк.} + m_{шат.к-а}) R \omega^2_{max} (1 + \lambda).$$

А-А киселеше өчен кысучы нормаль көчнөң кыйммәте:

$$N_{кыс} = P_{кыс.} \left[\frac{N_{кыс.0}}{P_{кыс.}} + \left(\frac{\sin \varphi_{ш.Т.}}{2} - \frac{\varphi_{ш.Т.}}{\pi} \sin \varphi_{ш.Т.} - \frac{1}{\pi} \cos \varphi_{ш.Т.} \right) \right]$$

$$M_{кыс} = P_{кыс.} r_{ур.} \cdot \left[\frac{M_{кыс.0}}{P_{кыс.} \cdot r_{ур.}} + \frac{N_{кыс.0}}{P_{кыс.}} (1 - \cos \varphi_{ш.Т.}) - \left(\frac{\sin \varphi_{ш.Т.}}{2} - \frac{\varphi_{ш.Т.}}{\pi} \sin \varphi_{ш.Т.} - \frac{1}{\pi} \cos \varphi_{ш.Т.} \right) \right]$$

Шушы тигезләмәләрдә булган зурлыкларны 39 нче таблица-дан да табарга мөмкин.

39 нче таблица

Параметрлар	Шатунның өске головкасы куелган урынның почмагы, градусларда					
	105	110	115	120	125	130
$N_{кыс.0}/P_{кыс.}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$18 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$60 \cdot 10^{-4}$	$85 \cdot 10^{-4}$
$M_{кыс.0}/P_{кыс.} r_{ур.}$	$10 \cdot 10^{-5}$	$25 \cdot 10^{-5}$	$60 \cdot 10^{-5}$	$110 \cdot 10^{-5}$	$180 \cdot 10^{-5}$	$300 \cdot 10^{-5}$
$\cos \varphi_{ш.Т.}$	-0,2588	-0,3420	-0,4226	-0,5	-0,5736	-0,6428
$\sin \varphi_{ш.Т.} - \cos \varphi_{ш.Т.}$	1,2247	1,2817	1,3289	1,366	1,3928	1,4088
$\frac{\sin \varphi_{ш.Т.}}{2} - \frac{\varphi_{ш.Т.}}{\pi} \sin \varphi_{ш.Т.} - \frac{1}{\pi} \cos \varphi_{ш.Т.}$	$20 \cdot 10^{-4}$	$47 \cdot 10^{-4}$	$86 \cdot 10^{-4}$	$130 \cdot 10^{-4}$	$235 \cdot 10^{-4}$	$304 \cdot 10^{-4}$

Көчәнешләр

- тышкы жепселләрдә

$$\sigma_{асс.} = \left[2M_{кыс.} \frac{6r_{ур.} + h_r}{h_r (2r_{ур.} + h_r)} + N_{кыс.} \right] \frac{10^{-6}}{l_{ш} h_r},$$

- эчке жепселләрдә:

$$\sigma_{icc.} = \left[-2M_{кыс.} \frac{6r_{yp.} + h_r}{h_r(2r_{yp.} + h_r)} + N_{кыс.} \right] \frac{10^{-6}}{l_{ш}h_r}.$$

Көчөнешләр асимметрик цикл буенча үзгәрә, өстәвенә тышкы жепселләрдә чыдамлылыкның минималь запасына ия була. Яңа шатуннарны проектлаганда шатунның өске головкасына куелган урын почмагы якынча $\varphi_{ш.т.} \approx 90^\circ$ булсын дип омтылырга кирәк.

2.14.3.2. Шатунның кривошип головкасын исәпләү

Исәпләмә n_{max} режимында (дизельләр өчен – $n_{ном.}$) кертү процессы башланганда шатун капкачының II-II кисемендә (57 нче рәсем) инерция көчләрәннән максимумга ия булучы бөгелеш көчәнеше билгеләмәсенә китерә.

40 нчы таблица

Шатун муентыгының диаметры $d_{ш.ш.} = (0,65 \pm 0,1)D$	Шатун болтлары арасындагы ераклык $C_6 = (1,5 \pm 0,25)d_{ш.ш.}$
Юка вкладыш стенкасының үлчәме $t_6 = (0,04 \pm 0,01)d_{ш.ш.}$	Кривошип головкасының озынлыгы $l_k = (0,7 \pm 0,25)d_{ш.ш.}$
Калын вкладыш стенкасының үлчәме $t_a = 0,1d_{ш.ш.}$	

$P_{jcyз} = -[(m_{пешк.} + m_{шат.к-а.})(1 + \lambda) + (m_{шат.эйл.} - m_{кап.})]R\omega^2 \cdot 10^{-6}$, МН,
монда $m_{пешк.}$ – пешкәк массасы; $m_{шат.к-а.} \approx 0,25 m_{шат.}$;

$m_{кап.} = 0,25 m_{шат.}$; $m_{шат.эйл.} = 0,75 m_{шат.}$

Шатунның массасы 2.13 нче бүлектәге формулалар буенча билгеләнә.

$$\sigma_{бөг.} = P_{jcyз} \left[\frac{0,023C_6}{(1 + J_6/J)W_{бөг.}} + \frac{0,4}{F_k} \right], \quad (2.73)$$

монда

$$J_6 = l_k t_6^3; \quad J = l_k (0,5C_6 - r_1)^3; \quad r_1 = \frac{1}{2}d_1 \quad (58 \text{ нчы рәсемне кара});$$

$$W_{бөг.} = l_k (0,5C_6 - r_1)^2/6; \quad F_k = l_k \cdot 0,5(C_6 - d_{ш.ш.}).$$

рәхсәт ителгән көчөнешләр – 300 МПа дан зур түгел.

2.14.3.3. Шатун кендеген исәпләү

Исәпләмә газ һәм инерция көчләре зур булган вакытта, номиналь егәрлек режимнарда 57 нчы рәсемнең В-В кисемендә (бу киселеш жыелган рәвештә булган шатун массасы үзәге аша үтә дип исәплиләр) арыганлык чыдамлыгына үткәрелә.

41 нче таблица

Характерлы размерлар	Бензин двигательләре	Дизельләр
$h_{ш. min}$	$(0,53 \pm 0,02)d_I$	$(0,53 \pm 0,02)d_I$
$h_{ш.}$ (В-В киселеше)	$(1,3 \pm 0,1) h_{ш. min}$	$(1,3 \pm 0,1) h_{ш. min}$
$b_{ш.}$ (киштәнең киңлегенә)	$(0,55 \pm 0,05)l_{ш.}$	$(0,65 \pm 0,1)l_{ш.}$
$a_{ш.} \approx t_{ш.}$	$(3,5 \pm 1) мм$	$(6 \pm 1,5) мм$

Кысучы көчләр

$$P_{кыс.} = P_{газ.} + P_j = [F_{неишк.} (p_z - p_o) - m_{к-а} R \cdot \omega_{ном.}^2 \cdot (1 + \lambda)] \cdot 10^{-6}, МН,$$

$$m_{к-а} = m_{неишк.} + 0,25 m_{шат.}$$

Сузучы көчләр кертү процессы башланганда максимумга ирешә

$$P_{суз.} = P_{газ.} + P_j = [(p_r - p_o) F_{неишк.} - m_{к-а} R \omega_{ном.}^2 (1 + \lambda)], \quad (2.74)$$

газ көчләрен $P_{газ.}$ игътибарга алмаска була

$$P_{суз.} = - m_{к-а} R \omega^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} МН. \quad (2.75)$$

Шатунның чайкалу яссылыгында кысылу көчәнеше

$$\sigma_{max x} = K_x P_{кыс.} / F_{ур.}, \quad (2.76)$$

монда

$$K_x = 1 + \frac{G_v}{\pi^2 E} \frac{L_{ш.}^2}{J_x} F_{ур.} - X-X \text{ чайкалу яссылыгында шатунның}$$

буйга бөгелешә тәсирен исәпләүче коэффициент;

- G_v – сыгылмалык чиге;
- $L_{ш.}$ – шатунның озынлыгы, м;
- J_x - X-X күчәренә карата В-В киселешендә инерция моменты, $м^4$;
- E – сыгылмалык модуле;
- $F_{ур.} = h_{ш.} b_{ш.} - (b_{ш.} - a_{ш.})(h_{ш.} - 2t_{ш.})$ - шатунның урта киселешә мәйданы, $м^2$.

Курс эшен эшлэгэндэ кирэкле төгэллек белэн $K_x=1,12\pm0,02$ кыйммэтен кабул итү рөхсэт ителэ.

Чайкалу яссылыгына перпендикуляр булган яссылыкта:

$$\sigma_{max y} = K_y P_{кис.} / F_{ур}. \quad (2.77)$$

монда

$$- K_y = 1 + \frac{G_{\sigma}}{\pi^2 E_{ш}} \frac{L_1^2}{4 J_y} F_{ур}, \quad L_1 = L_{ш} - (d + d_1) / 2;$$

- J_y – шатун чайкалуы яссылыгында ятучы Y-Y күчэрэнэ карата В-В киселешендэ инерция моменты.

Шул ук төгэллек белэн K_y ны $K_y \approx 1,03$ дип кабул итэргэ мөмкин. Хэзерге конструкциялэр өчөн σ_{max} артмаска тиеш:

- углеродлы корыч өчөн – 250 МПа;
- легирланган корыч өчөн – 350 МПа.

Минималь көчөнөшлэр В-В киселешендэ билгелэнэлэр

$$\sigma_{min} = P_{суз} / F_{ур}.$$

Чыдамлылык запаслары, n_x (чайкалу яссылыгында) һәм n_y (перпендикуляр яссылыкта) 1,5 тән түбән булмаска тиеш.

2.14.3.4. Шатун болтларын исәпләү

Шатун болтлары алдан тарттыру көче һәм кире кайтма алга баручы һәм әйләнмә хәрәкәт итүче массаларның инерция көчлөрө белән йөкләнгән.

Конструкцион материаллар: 35Х; 40Х; 35ХМА; 37ХНЗА һәм легирланган корычлар 18ХНВА; 40ХН; 40ХНМА.

Инерция көчлөрө

$$P_{jсуз} = -[(m_{нешк} + m_{шат.к-а.}) (1 + \lambda) + (m_{шат.эйл.} - m_{кап.})] R \omega^2 \cdot 10^{-6}, \text{ МН.}$$

Билгеләр шулай ук, 2.14.3.3. тәге шикелле.

Тарттыруның көче

$$P_{тарт.} = (2,5 \pm 0,5) P_{jсуз} / i_{болт.},$$

монда $i_{болт.}$ - бер шатундагы болтларның саны, гадәттә ике була. Ул вакытта болтны өзүче гомумиләштерелгән көчләр

$$P_6 = P_{тарт.} + \chi P_{jсуз} / i_{болт.},$$

2.14.3.3. Шатун кендеген исәпләү

Исәпләмә газ һәм инерция көчләре зур булган вакытта, номиналь егәрлек режимнарда 57 нчы рәсемнең В-В кисемендә (бу киселеш жыелган рәвештә булган шатун массасы үзәге аша үтә дип исәплиләр) арыганлык чыдамлыгына үткәрелә.

41 нче таблица

Характерлы размерлар	Бензин двигательләре	Дизельләр
$h_{ш.мин}$	$(0,53 \pm 0,02)d_I$	$(0,53 \pm 0,02)d_I$
$h_{ш.}$ (В-В киселеше)	$(1,3 \pm 0,1) h_{ш.мин}$	$(1,3 \pm 0,1) h_{ш.мин}$
$b_{ш}$ (киштәнең киңлегенә)	$(0,55 \pm 0,05)l_{ш}$	$(0,65 \pm 0,1)l_{ш}$
$a_{ш} \approx t_{ш}$	$(3,5 \pm 1) мм$	$(6 \pm 1,5) мм$

Кысучы көчләр

$$P_{кыс.} = P_{газ.} + P_j = [F_{нешк.}(p_z - p_o) - m_{к-а} R \cdot \omega_{ном}^2 \cdot (1 + \lambda)] \cdot 10^{-6}, МН,$$

$$m_{к-а} = m_{нешк.} + 0,25 m_{шат.}$$

Сузучы көчләр кертү процессы башланганда максимумга ирешә

$$P_{суз.} = P_{газ.} + P_j = [(p_r - p_o) F_{нешк.} - m_{к-а} R \omega_{ном}^2 (1 + \lambda)], \quad (2.74)$$

газ көчләрен $P_{газ}$ игътибарга алмаса була

$$P_{суз.} = - m_{к-а} R \omega^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} МН. \quad (2.75)$$

Шатунның чайкалу яссылыгында кысылу көчәнеше

$$\sigma_{max x} = K_x P_{кыс.} / F_{ур.}, \quad (2.76)$$

монда

$$K_x = 1 + \frac{G_v}{\pi^2 E} \frac{L_{ш}^2}{J_x} F_{ур.} - X-X \text{ чайкалу яссылыгында шатунның}$$

буйга бөгелешә тәэсирен исәпләүче коэффициент;

- G_v — сыгылмалык чиге;
- $L_{ш}$ — шатунның озынлыгы, м;
- J_x — X-X күчәренә карата В-В киселешендә инерция моменты, $м^4$;
- E — сыгылмалык модуле;
- $F_{ур.} = h_{ш} b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш})$ — шатунның урта киселешә мәйданы, $м^2$.

Курс эшен эшлэгэндэ кирэкле төгэллек белэн $K_x=1,12\pm0,02$ кыйммэтен кабул итү рөхсэт ителэ.

Чайкалу яссылыгына перпендикуляр булган яссылыкта:

$$\sigma_{\max y} = K_y P_{\text{кис.}} / F_{\text{ур.}} \quad (2.77)$$

монда

$$- K_y = 1 + \frac{G_e}{\pi^2 E_{\text{ш}}} \frac{L_1^2}{4 J_y} F_{\text{ур}}, \quad L_1 = L_{\text{ш}} - (d + d_1) / 2;$$

$-J_y$ – шатун чайкалуы яссылыгында ятучы Y-Y күчэрэнэ карата В-В киселешендэ инерция моменты.

Шул ук төгэллек белэн K_y ны $K_y \approx 1,03$ дип кабул итэргэ мөмкин. Хэзерге конструкциялэр өчөн $\sigma_{\max}$ артмаска тиеш:

- углеродлы корыч өчөн – 250 МПа;
- легирланган корыч өчөн – 350 МПа.

Минималь көчөнөшлэр В-В киселешендэ билгелэнэлэр

$$\sigma_{\min} = P_{\text{суз}} / F_{\text{ур.}}$$

Чыдамлылык запаслары, n_x (чайкалу яссылыгында) һәм n_y (перпендикуляр яссылыкта) 1,5 тән түбән булмаска тиеш.

2.14.3.4. Шатун болтларын исәпләү

Шатун болтлары алдан тарттыру көче һәм кире кайтма алга баручы һәм әйләнмә хәрәкәт итүче массаларның инерция көчлөрө белән йөкләнгән.

Конструкцион материаллар: 35Х; 40Х; 35ХМА; 37ХНЗА һәм легирланган корычлар 18ХНВА; 40ХН; 40ХНМА.

Инерция көчлөрө

$$P_{\text{жсуз}} = -[(m_{\text{нешк}} + m_{\text{шат.к-а.}})(1 + \lambda) + (m_{\text{шат.әйл.}} - m_{\text{кап.}})] R \omega^2 \cdot 10^{-6}, \text{ МН.}$$

Билгеләр шулай ук, 2.14.3.3. тәге шикелле.

Тарттыруның көче

$$P_{\text{тарт.}} = (2,5 \pm 0,5) P_{\text{жсуз}} / i_{\text{болт.}}$$

монда $i_{\text{болт.}}$ - бер шатундагы болтларның саны, гадәттә ике була. Ул вакытта болтны өзүче гомумиләштерелгән көчләр

$$P_6 = P_{\text{тарт.}} + \chi P_{\text{жсуз}} / i_{\text{болт.}}$$

χ -резьбалы тоташтыруларның төп йөкләмәләре коэффициенты. Үтәлүче проект өчен $\chi=0,2$ дип кабул итәргә мөмкин. Көчәнешләр

$$\sigma_{\max} = \frac{4P_6}{\pi \cdot d_{\text{эчк}}^2}; \quad \sigma_{\min} = \frac{4P_{\text{тарт}}}{\pi \cdot d_{\text{эчк}}^2}, \quad (2.78)$$

монда $d_{\text{эчк.}} = d - 1,4t$ — резьбаның эчке диаметры (d — болтның диаметры, t — резьбаның адымы).

Шатун болтлары өчен чыдамлылык запасы $n \geq 2$.

2.14.4. Көч шпилькаларын исәпләү

Материаллар: 30X, 35X; 40X; 18ХНВА; 30ХГСА; 40ХНМА.

Шпилька газ басымы көчләре һәм алдан тарттыруның көче белән йөкләнелә. Газ басымы көчләре яну моментында максималь кыйммәткә ирешә. Бер шпилькага туры килүче газ басымы көчләре

$$P_{z \max}^I = p_{z \max} \cdot F_x / i,$$

монда

- $p_{z \max}$ — газларның максималь басымы;
- i — бер цилиндрдагы шпилькалар саны;
- F_x — цилиндр күчәренә перпендикуляр булган яссылыкта яну камерасы мәйданының проекциясе

$$F_x = (1,2 \pm 0,1) F_{\text{нешк}}, \text{ м}^2.$$

Шпильканы тарттыручы иң зур көч

$$P_{\text{суз.мак}} = P_{\text{тарт.}} + \chi P_{z \max}^I + P_t, \quad (2.79)$$

монда

- $P_{\text{тарт.}}$ — газ ялганышын булдырмый торган баштагы тарттыру көче

$$P_{\text{тарт.}} \approx 3(1 - \chi) P_{z \max}^I,$$

- χ — резьбалы тоташманың төп йөкләнеш коэффициенты,
- P_t — кайнар двигательдә алюминий эретмәнең (головка) һәм корычның (шпилькалар) төрле киңәю коэффициентлары аркасында барлыкка килгән өстәмә көчәнеш. Башкарылучы

проектта P_i исәпләмәсе катлаулы булганга күрә, аны игътибарга алмаса мөмкин, әмма исәпләүдә чыдамлылык запасын күтәрергә кирәк.

$$P_{\text{суз.мин}} = P_{\text{тарт.}} = 3(1-0,2); \quad P'_{z \text{ max}} = (2,4 \dots 2,5) P'_{z \text{ max}} \quad (2.80)$$

Көчәнешләр

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\text{суз.маx}}}{F_{\text{ш.}}}; \quad \sigma_{\text{min}} = \frac{P_{\text{суз.мин}}}{F_{\text{ш.}}}, \quad (2.81)$$

монда

- $F_{\text{ш}}$ – резъбаның эчке диаметры буенча шпильканың киселеш мәйданы;

- $d_{\text{рез.}} = d_{\text{шн.}} - 1,4t$, монда $d_{\text{шн.}}$ - шпилька диаметры (мәсәлән М12 - $d_{\text{шн.}} = 12 \cdot 10^{-3}$ м);

- t – резъбаның адымы.

Циклның амплитудасы $\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2};$

Циклның уртача кыйммәте $\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2}. \quad (2.82)$

Чыдамлылыкның рөхсәт ителгән циклләре

$$n_{\sigma} = 3,5 \dots 4; \quad n_{\tau\sigma} = 2 \dots 2,5.$$

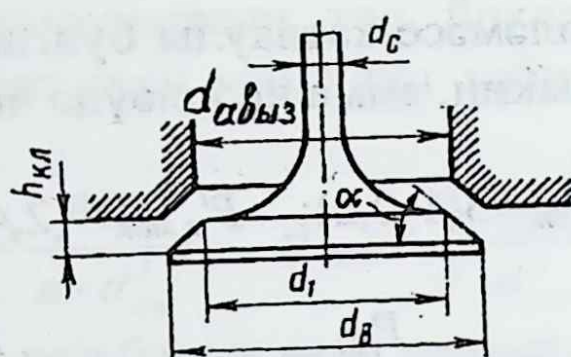
Мондый кыйммәтләрне кабул итәргә мөмкин, чөнки исәпләмәдән термик көчәнешләр төшереп калдырылган.

2.14.5. Газ бүлү механизмын исәпләү

2.14.5.1. Гомуми мәгълүматлар

Клапан механизмы конструкциясенә куелган таләпләр максималь дәрәжәдә түбәндәгеләрне үтәргә тиеш:

1. Зур аркылы үтеп йөри торган киселешләр хисабына цилиндрны иң яхшы итеп тутыру һәм чистартуны тәэмин итәргә.
2. Инерцион йөкләнешләрне минимумга кадәр кыскартырга, ягъни кире кайтма-алга баручы һәм чайкалучы хәрәкәтләр ясаучы ГБМ детальләренең бөтен комплектының массасын жиңеләйтергә.



59 нче рәсем. Клапан механизмының үтеп була торган киселешенен исәпләүле схемасы

Клапан иярәндә $F_{кл.}$ һәм авызында $F_{авыз.}$ үтеп йөри торган киселешләрнен билгеләмәсе

$$F_{кл.} = c_n F_n / (i_{кл.} W_{hава}), \quad (2.83)$$

монда

- c_n – пешкәкнең уртача тизлегә (м/с);

- $F_{пешк.} = \frac{\pi D^2}{4}$ - пешкәк мәйданы (м²);

- i – цилиндрда бер исемдәге клапаннарның саны;

- $W_{hава}$ – клапанның үтеп була торган киселешендә саф катнашманың (һава) тизлегә (м/с).

Чыгару клапаннары $d_{авыз}$ өчен 15...20% ка кимрәк. Клапан авызының мәйданын $F_{авыз.} = (1,15 \pm 0,05) F_{кл.}$ дип кабул итәргә.

Авыз үлчәмнәре буенча статик мәгълүматлар

42 нче таблица

Двигатель	$d_{авыз.}/D_{пешк.}$
Клапанның түбән урнашуы	$0,4 \pm 0,02$
Клапанның югары урнашуы	$0,43 \pm 0,1$
Өермә камералы һәм алда булган камералы дизельләр	0,4 кә кадәр
Бүленмәгән яну камерасы булган дизельләр	$0,4 \pm 0,02$
Чөйсыман яну камерасы булган двигательләр	0,45 кә кадәр
Шатрлы (ярты сфералы) яну камерасы булган двигательләр	0,52 гә кадәр

45⁰ фаскалы клапаннар өчен клапанның максималь күтәрелеше

$$h_{кл.} = \frac{\sqrt{4,93d_{авыз.}^2 + 4,44F_{кл.}}}{2,22} - d_{авыз.},$$

клапанның максималъ күтәрелеше $0,18d_{авыз.}$ дан ким, әмма $0,3 d_{авыз.}$ дан артык та булмавы кирәк.

2.14.5. 2. Клапан пружинасын исәпләү

Клапан пружиналары түбәндәгеләрне тәэмин итәргә тиеш:

1. Клапанны тыгыз утырту һәм аны йодрыкчаның этәргечкә тәэсире булганчыга кадәр ябык рәвештә тотып тору.

2. Клапан ябылганда клапанның, йодрыкчаның һәм этәргечнең даими үзара кинематик бәйләнешен булдыру.

Әгәр дә чыгару клапаны өчен

$$P_{пр.мин} > F_{авыз.}(p_r - p_a)$$

булса, беренче таләп үтәлә, монда

- $P_{пр.мин}$ — клапанның ябык вакытында пружинаның минималъ көче;

- $F_{авыз.}$ — клапан авызының мәйданы m^2 ;

- p_r — чыгару коллекторындагы калдык газларның басымына карата тигез зурлыкта кабул ителүче газ басымы;

- p_a — кертү вакытында цилиндрдагы басым.

Бензин двигательләре өчен $(p_r - p_a) = 0,05 \dots 0,07 \text{ МПа}$ һәм әйләнешләр югарырак булган саен ул тагы да күбрәк була.

Дизельләр өчен $(p_r - p_a) = 0,02 \dots 0,03 \text{ МПа}$.

Кертү клапаннары өчен бу таләп бары тик өрдертүле двигательләре өчен генә барлыкка килә

$$P_{пр.мин} > F_{авыз.}(p_k - p_r),$$

p_k — компрессордан соң өрдертү басымы.

Икенче таләп

$$P_{пр.} = KP_{жкл.2.}$$

булганда үтәлә, монда

- K — ышанычлылык коэффициенты, $K = 1,5 \pm 0,16$ (бензин двигательләре өчен югары, дизельләр өчен — түбән);

- $P_{jкл.2.}$ — этэргечнең кире тизләнеш белән хәрәкәте вакытында клапан күчәренә китерелүче механизм инерциясе көче.

Клапанлы пружина исәпләмәсендә үтәлә:

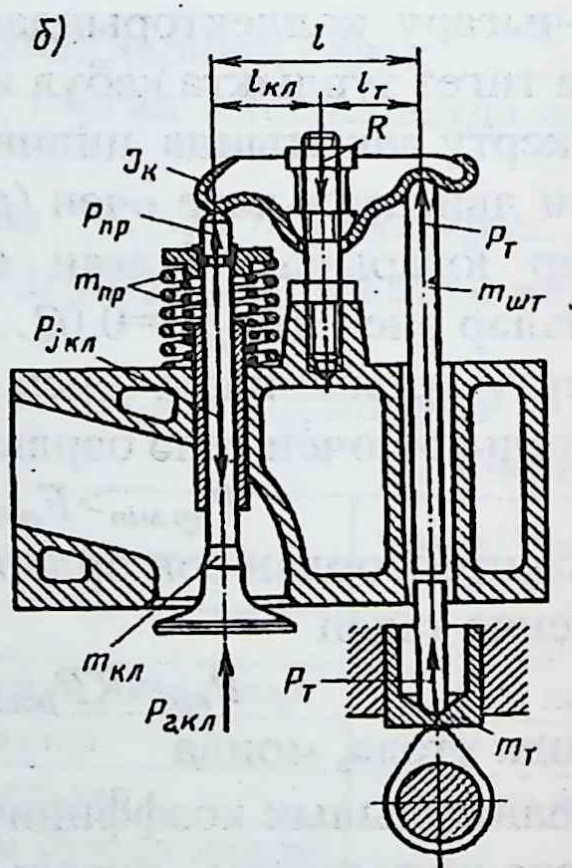
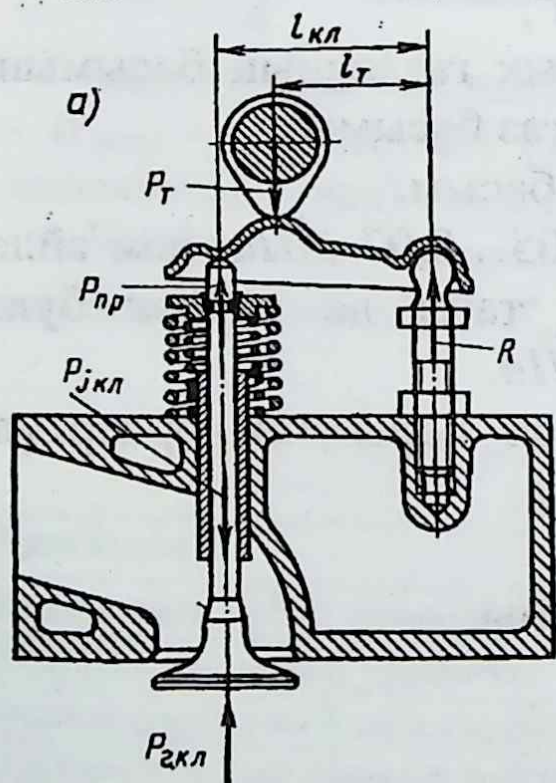
- сыгымалыкның ихтыяж көче $P_{jкл.2.}$;
- пружина характеристикасын сайлау;
- ябык клапанда минималь көчәнешен тикшерү;
- пружина үлчәмнәрен сайлау;
- чыдамлылык запасын һәм үз тирбәнүләрен билгеләү.

Клапан күчәренә китерелгән масса

$$M_{кл.} = m_{кл.} + \frac{1}{3} m_{пр.} + (m_m + m_{шт.}) \left(\frac{l_T}{l_{кл.}} \right), \quad (2.84)$$

монда

- $m_{кл.}$ — клапанның, бикләвечнең, пружина тэлинкәсенең массалары;
- $m_{пр.}$ — пружинаның (пружиналарның) массасы;
- m_m — этэргечнең массасы;
- $m_{шт.}$ — штанганың массасы.



60 нчы рәсем

Тагы да төгэлрэк исәпләмәләр өчен клапан рычагларының инерция моментларын да исәпкә алу кирәк булыр иде.

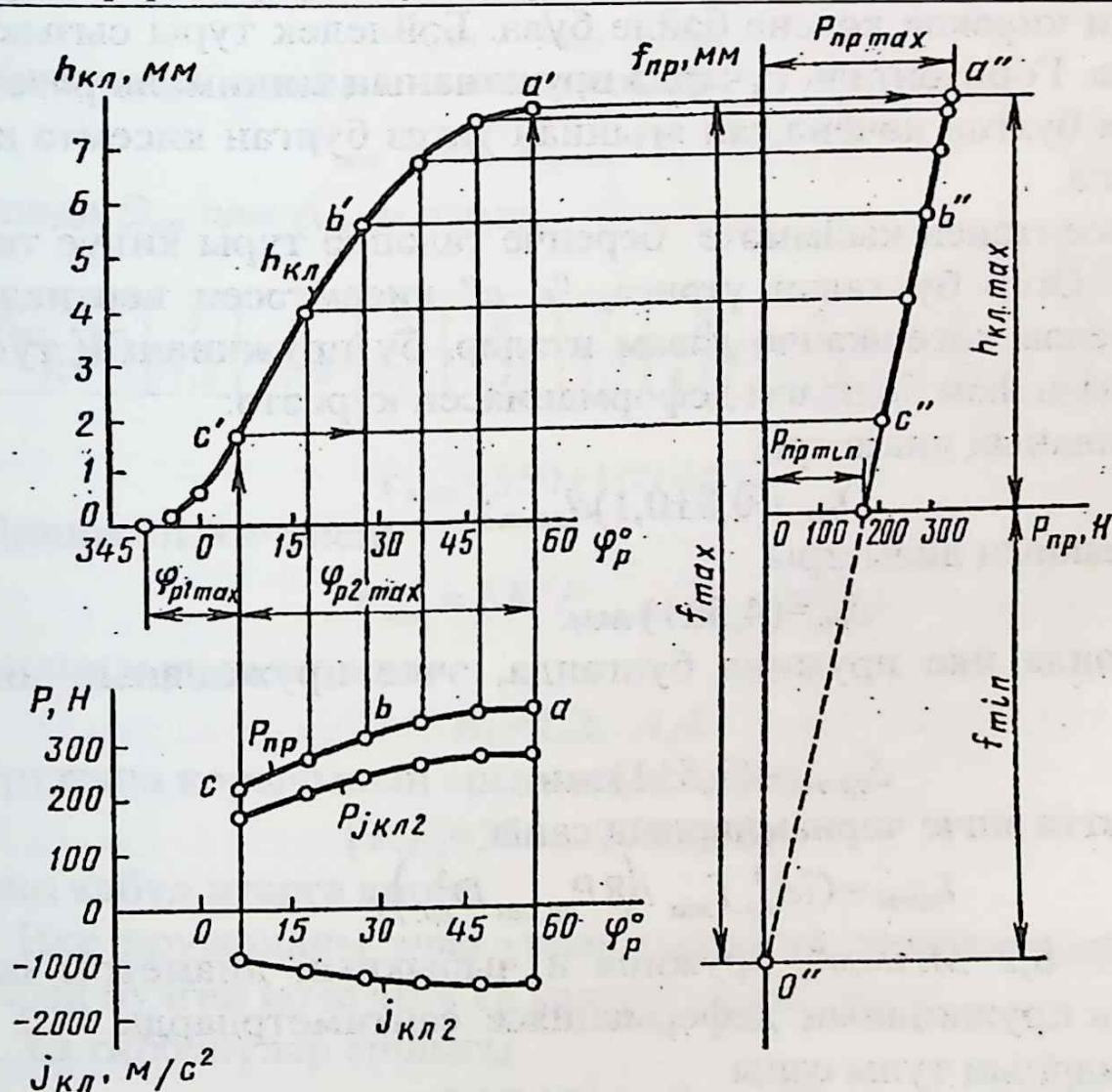
Башкарылучы проектта исәпкә алынмаган нәрсәләр дә булыр, ләкин “К” ның кыйммәтен берәз күтәрергә ($K = 1,34 \dots 1,66$) һәм статик мәгълүматлар кулланырга кирәк

$$M_{кл.} = M'_{кл.} \cdot F_{авыз.}$$

$M'_{кл.}$ — клапан күчәрәнә карата клапан авызының мәйданы берәмлегенә туры килүче масса.

43 нче таблица

ГБМ компоновкасы	$M'_{кл.} \text{ кг/м}^2$
Клапаннарның аскы урнашуы	235 ± 15
Аскы бүлү валы, асып куела торган клапаннар	265 ± 35
Өске бүлү валы, асып куела торган клапаннар	200 ± 20



61 нчы рәсем

61 нчы рәсемдә $P_{жкл.2}$ инерция көченең бүлү валы борылышы почмагынан $\varphi_{б.в.}$ бәйлелеге күрсәтелгән. K ны исәпкә алып, ("K" 1,34 тән 1,66 га кадәр) пружинаның кирәкле көченең борылыш почмагынан бәйлелеге төзелә.

$$P_{пр.} = K P_{жкл.2}.$$

61 нчы рәсемдә күрсәтелгән графикта өч нокта (a , b һәм c) билгеләнә, ә соңыннан алар клапан күтәрелешенең бүлү валының борылыш почмагынан (a' , b' һәм c') бәйлелеге графигына күчерелә.

Пружинаның максималь деформациясә һәм пружинаның кирәкле көченең $P_{пр.мах}$ максималь кыйммәте буенча, $P_{пр}$ ның кыйммәтләрен исәпкә алып, " b " һәм " c " нокталарында $f_{пр.} = f_{пр.}(P_{пр.})$ бәйлелеге төзелә, ягъни пружина деформациясә пружинаның кирәкле көченә бәйле була. Бәйлелек туры сызыкка китерелә. Горизонталь күчәрдә пружинаның минималь рәвештә кирәк булган көченә сан ягынан тигез булган кисемтә ки-сеп алына.

Бу кисемтәнең кыйммәте беренче таләпкә туры килүе тикшерелә. Әгәр бу таләп үтәлсә, " a c " кисемтәсен вертикаль күчәр белән кисешкәнче давам итәләр, бу пружинаның тулы озынлыгын һәм баштагы деформациясен күрсәтә:

- пружинаның диаметры

$$D_{пр.} = (0,8 \pm 0,1) d_{авыз.};$$

- чыбыкның диаметры

$$\delta_{пр.} = (4,5 \pm 1) \text{ мм.}$$

Клапанда ике пружина булганда, эчке пружинаның диаметры

$$\delta_{пр.эчк.} = (3,5 \pm 1) \text{ мм.}$$

Ул вакытта эшче чорнамнарның саны

$$i_{эшче} = G \delta_{пр.}^4 f_{мах} / (8 P_{пр.мах} D_{пр.}^3),$$

монда $G = 8,2 \text{ МН/см}^2$, пружина и чыбыкның диаметры һәм шулай ук пружинаның деформациясә сантиметрларда.

Чорнамнарның тулы саны

$$i_{тулы} = i_{эшче} + 2.$$

Ирекле пружинаның үрелгән саны

$$t = \delta_{пр.} + \frac{f_{max}}{i_{эшче}} + \Delta_{min},$$

монда $\Delta_{min} = 0,3$ мм – тулысынча ачык клапанда үрелмэләр арасындагы ярык, ягъни пружина тулысынча кысылган.

Клапан тулысынча ачык булганда пружинаның озынлыгы

$$L_{min} = i_{тулы} \delta_{пр.} + i_{эшче} \Delta_{min}.$$

Клапан ябык булганда пружинаның озынлыгы

$$L_o = L_{min} + h_{кл.мах.}$$

Ирекле пружинаның озынлыгы

$$L_{ирек.} = L_{min} + f_{max}.$$

Максималь орынмалы көчәнешләр

$$\tau_{max} = 8K' P_{пр.мах} D_{пр.} / (\pi \delta_{пр.}^3),$$

монда $D_{пр}$ һәм $\delta_{пр}$ м ларда.

44 нче таблица

$D_{пр.}/\delta_{пр.}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K'	1,5	1,38	1,3	1,23	1,2	1,17	1,15	1,13	1,11	1,1

$$\tau_{max} = 550 \pm 100 \text{ МПа},$$

Минималь көчәнеш

$$\tau_{min} = 8K' P_{пр.мин} D_{пр.} / (\pi \delta_{пр.}^3).$$

Чыдамлылык запасы

$$n_{\tau} = 1,2 \dots 1,4.$$

Пружина корычының арыганлык чиген

$$[\tau_{.1}] = 350 \dots 370 \text{ МПа}$$

дип кабул итәргә кирәк.

Ике пружинаны эчкә урнаштырганда пружинаның гомуми кирәк булган көче 40% ка кадәр булырга тиеш.

Үз тирбәнүләр ешлыгы

$$n_{уз.} = 2,17 \cdot 10^7 \delta_{пр.} / (i_{эшче} D_{пр.}^2),$$

монда $\delta_{пр}$ и $D_{пр}$ – мм ларда.

$$\frac{2n_{\text{р.}}}{n_{\text{т.в.}}}$$

чагыштырмасы бөтен сан булырга тиеш түгел, бигрәк тә бергә тигез булырга (резонанс),

-монда $n_{\text{т.в.}}$ - терсәкле валның ешлыгы.

Ике пружина вакытында

$$n_{\text{үз.тышкы.}} \neq n_{\text{үз.эчке.}}$$

2.15. КАРБЮРАТОРЛЫ ДВИГАТЕЛЬНЕН ТУЕНДЫРУ СИСТЕМАСЫН ИСӘПЛӘУ

Карбюратор түбәндәгеләрне үз эченә алырга тиеш:

- бирелгән катнашма составын алуны булдыручы, ягулык бирүне компенцияләүче, дозаларга бүлүче төп системаны;
- буш йөрү системасын;
- номиналь егәрлеккә күчкән вакытта баетылган катнашма бирү системасын;
- тизләткеч насосны;
- двигательне ышанычлы эшләтеп жибәрүче жайланманы.

Диффузорны исәпләү.

Диффузорда һаваның тизлегә

$$W_h = \sqrt{2\Delta p_{\text{диф.}} / \rho_o}, \quad (2.85)$$

монда $\Delta p_{\text{диф.}}$ – диффузор киселешендә сирәкләтелү

$$\Delta p_{\text{диф.}} = p_o - p_{\text{дифф.}}$$

Диффузорның гидравлик каршылыгын исәпкә алып дөрес тизлек

$$W_{\text{диф.}} = \varphi_o \alpha_c W_h = \mu_v W_h, \quad (2.86)$$

монда

- φ_o – гидравлик каршылыкны исәпкә алучы коэффициент;
- α_c – агымның кысылу коэффициенты;
- μ_v - диффузор аша үткән һаваның тотылу коэффициенты, курс эшенә кирәкле төгәллек белән $\mu_v = 0,9 \pm 0,05$ кыйммәтен кабул итү рөхсәт ителә.

Ул вакытта диффузор аша үткән һаваның тотылуы түбәндәгеләрдән гыйбарәт

$$G_h = \mu_v \cdot \rho_o \frac{\pi d_{\text{диф}}^2}{4} \sqrt{2 \Delta p / \rho_o} \cong d_{\text{диф}}^2 \sqrt{\Delta p_{\text{диф}} \cdot \rho_o}, \text{ кг/с,}$$

монда

- $d_{\text{диф}}$ — диффузорның диаметры, м да;
- $\Delta p_{\text{диф}}$ — диффузорда бушану, Паскальдә, ягъни $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;
- ρ_o — һаваның тыгызлыгы, $\text{кг}/\text{м}^3$ да.

Икенче яктан караганда, диффузор аша үткән һава тотылуы двигательнең цилиндры аша үткән һава тотылуына тигез була. Алар икесе дә бер үк карбюратор белән тәэмин ителә. Дүрттактлы двигатель өчен

$$G_h = \eta_v V_h \frac{n}{2} \cdot \frac{1}{60} \rho_o i,$$

монда

- η_v — тутыру коэффициенты;
- V_h — цилиндрның эш күләме м^3 да;
- n — минут эчендә булган әйләнешләр, ә $n/2$ минут эчендә тутыру тактының саны;
- ρ_o — стандарт шартларда һаваның тыгызлыгы $\text{кг}/\text{м}^3$ да;
- i — бер карбюраторга цилиндрлар саны.

Шулай итеп,

$$d_{\text{диф}}^2 \sqrt{\Delta p_{\text{диф}} \cdot \rho_o} = \eta_v V_h \frac{n}{120} \rho_o i,$$

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \text{ ны исәпкә алып,}$$

$$\Delta p_{\text{диф}} = \left[\frac{\eta_v}{\mu_v} \left(\frac{D}{d_{\text{диф}}} \right)^2 S \frac{ni}{120} \right] \frac{\rho_o}{2},$$

$$d_{\text{диф}} = \sqrt{4 G_h / (\pi \mu_v W_h \rho_o)}, \text{ м.}$$

Килеп чыккан кыйммәтләрне уртача статистик мәгълүмалар буенча исәпләүләр белән чагыштырырга кирәк. Бу

вакытта алдагы исәпләмә диффузорның диаметрына, ә уртача статистик исәпләмә дроссель япкычы урнаштырылган катнаштыру камерасының диаметрына кагыла.

$$d_{кат.кам.} = a_{пульс} \sqrt{V_h i \frac{n}{1000}}, \text{ мм.}$$

Бер үк карбюратор белән тәэмин ителүче цилиндрларның саныннан бәйле рәвештә пульсация агымы коэффициенты ($a_{пульс}$) шундый кыйммәт алачак:

45 нче таблица

i	1	2	3	4	5	6
$a_{пульс}$	24,2	17,1	14,15	13,0	12,85	11,9

Диффузорның һәм катнаштыргыч камера диаметрларының мөнәсәбәте

$$d_{кат.кам.} / d_{диф.} = 1,6 \dots 1,15.$$

2.16. МАЙЛАУ СИСТЕМАСЫН ИСӘПЛӘҮ

2.16.1. Тышкы элэгүле тешле тәгәрмәчле насосны исәпләү

Двигательдә әйләнәп йөрүче май бөтен жылылыкның 2...3% ын ала дип исәпләсәк, насос исәпләмәсе аның тешле тәгәрмәч үлчәмнәре билгеләмәсенә кайтып кала.

Димәк $Q_m = (0,02 \dots 0,03) Q_0,$

әгәр жылылык тулысынча янып бетә дигән фикергә килсәк,

$$Q_0 = \frac{H_u G_{ягулык}}{3600}, \tag{2.87}$$

монда H_u - КДж/кг, $G_{ягулык}$ – кг/сәг ләрдә.

Әйләнәп йөргән майның чыгымы

$$V_u = Q_m / (\rho_m c_m \Delta t_{май}), \text{ м}^3/\text{с}, \tag{2.88}$$

монда

- ρ_m – майның тыгызлыгы, $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$;
- c_m – майның жылысыйдырышлыгы, $c_m = 2,1 \frac{\text{КДж}}{\text{кг град}}$;
- $\Delta t_{май}$ – двигательдә майның жылынуы, $\Delta t_{май} = 12 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Редукцион клапан ярдәмендә төп магистральдә майның басымын стабильләштерү өчен $V'_н = 2V_н$ дип кабул ителәр.

Бу вакытта майның тешле тэгәрмәчнәң кырыйдагы ярыкларыннан агып чыгуын исәпкә алырга кирәк

$$V_{испн.} = V'_н / \eta_{мн},$$

монда $\eta_{мн}$ – насосның бирү коэффициенты, $\eta_{мн} = 0,7 \pm 0,1$, тешле тэгәрмәчләр өчен диаметры 50 мм чамасында булу зур кыйммәткә ия, ә 30 мм дан ким диаметрлы тешле тэгәрмәчләр өчен – түбәнрәк кыйммәт. Теш һәм батынкы урыннарның күләнәре бердәй дип алына

$$V = \pi D_0 h b,$$

монда

- D_0 – тешле тэгәрмәчнәң башлангыч әйләнәсенәң диаметры, м;
- h – тешнәң биеклегә яки батынкы урынның тирәнлегә, м;
- b – тешнәң озынлыгы, м.

Ул вакытта
$$V_{испн.} = \pi D_0 h b \frac{n}{60}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.89)$$

Тешнәң озынлыгы эләктерелүнәң ике модуле зурлыгына тигез итеп кабул ителә

$$b = 2m,$$

Шулай итеп

$$D_0 = Zm,$$

$$V_{испн.} = 2\pi Z m^2 b n_n / 60,$$

монда

- Z – тешле тэгәрмәчләрнәң тешләр саны ($Z = 6 \dots 12$);
- m – эләктерелеш модуле ($m = 3 \dots 6$);
- $n_n = \frac{U_n 60}{\pi D_{тыш.}}$ – насосның әйләнеше *әйл/мин*;
- $D_{тыш.} = m(Z+2)$ – тешле тэгәрмәчнәң тышкы диаметры;
- U_n – тышкы диаметрда тизлек, гадәттә ~ 9 м/с итеп кабул ителә.

Тулысынча

$$b = \frac{60 \cdot V_{исп}}{2 \cdot \pi \cdot m^2 \cdot Z \cdot n_n}.$$

$\frac{n_n}{n}$ - насос йөрткечендә тапшыргыч мөнәсәбәтен билгели.

Номиналь режимда насос йөрткеченә тотылган егәрлек

$$N_{нас.} = \frac{V_{исп} \cdot p}{\eta_{мн} \cdot 10^3}, \text{ КВт}, \quad (2.90)$$

монда

- $p = (0,3 \dots 0,7) \text{ МПа}$ – төп май магистралендә эшче басым. Югары кыйммәтле басым пешкәкне май белән суыту очрагында һәм шулай ук һава белән суытылучы двигатель өчен дә кулланыла. Бирелгән курс проектында p кыйммәтен $0,5 \text{ МПа}$ дип кабул итәргә мөмкин.

2.16.2. Эчке эләктерүле тешле тәгәрмәчле насосны исәпләү

Эчке эләктерүле бер секцияле тешле тәгәрмәчле насосны проектлау. Эчке эләктерүле насослар өчен насостагы майны күчерү тизлегә 16 дан 20 м/с кадәр билгеләнергә мөмкин. Йөртүче (эчке) тешле тәгәрмәч терсәкле валның очына беркетелә һәм валның әйләнү тизлегә белән әйләнә. Исәпләмә номиналь ешлыкның әйләнеше өчен алып барыла.

Беренче якынлашуда бүлүче әйләнәнән зурлыгы исәпләнелә

$$D_o = \frac{2U_{куч}}{\omega_{ном.}},$$

монда

- $U_{куч} = 16 \dots 20 \text{ м/с}$;

- $\omega_{ном.}$ – терсәкле вал әйләнүенән номиналь ешлыгы.

Эләктерү модуле m дип билгеләнә ($2,5 \dots 3,5 \text{ мм}$ лы чикләрдә сайлауга өстенлек бирелә).

Эчке тешле тәгәрмәчнән тешләр саны табыла

$$Z_1 = \frac{D_o}{m}$$

һәм ул сан бөтен булганчыга кадәр түгәрәкләнә.

Бүлүче әйләнәнән диаметры аныкландырыла

$$D_{o1} = Z_1 m.$$

Йөртелүче тешле тәгәрмәчләр өчен тешләр саны билгеләнә

$$Z_2 = Z_1 + (4 \dots 6),$$

ләкин $Z_2 = Z_1 + 4$ булса яхшырак була.

Йөртелүче тешле тәгәрмәчнән бүлүче әйләнәсенән диаметры исәпләп чыгарыла

$$D_{o2} = Z_2 m.$$

Эчке тешле тәгәрмәч чокырының яртысында май күчерелде, ә тешнән һәм чокырның күләмнәре бердәй тигез. Ул чагында күчерүдә катнашучы чокырларның күләме түбәндәгечә була

$$W_{\text{күч.}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi}{4} (D_{\text{тышкы}}^2 - D_{\text{эчке}}^2) \cdot b,$$

монда b — тешнән озынлыгы (тешле тәгәрмәчнән калынлыгы буенча)

$$D_{\text{тышкы}} = (Z+2)m; \quad D_{\text{эчке}} = (Z-2)m; \quad W_{\text{күч.}} = \frac{\pi Z_1 m^2 b}{2}, \text{ м}^3,$$

ә майны секунд эчендә тешле тәгәрмәч тарафыннан күчерү тәшкил ителә

$$V_{\text{исп. I}} = \frac{\pi Z_1 m^2 b n}{120} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Йөртүче һәм йөртелүче тешле тәгәрмәчләр тешләренән әйләнә тизлеген бер үк кыйммәткә ия булу сәбәпле, йөртелүче тешле тәгәрмәч тә, йөртүче тешле тәгәрмәч тә бер үк әйләнеш эчендә бер үк күләмдәге май күчерә. Димәк, насос аша үтүче чыгымның күләме

$$V_{\text{исп. II}} = \frac{\pi Z_1 m^2 b n}{60} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Кирәкле күләмле чыгым, тешле тәгәрмәчле насосның тышкы эләктерүенә исәпләмәсе вакытындагы кебек үк билгеләнә. Ул вакытта

$$b = \frac{60V_{исп}}{\pi Z_1 m^2 n}, \text{ м.}$$

Белешмә мәгълүматлар.

ВАЗ-2108 һәм МеМЗ-245 двигательләренә май насосларында модуль $m=2,5$ мм, тешнең зурлыгы $b=9$ мм; $Z_1=24$; $Z_2=28$ була.

2.16.3. Шуа торган подшипникны исәпләү

Ул подшипникның ышанычлылык запас коэффициентының билгеләүдән гыйбарәт

$$K = \frac{h_{min}}{h_{кр}},$$

бу минималь ярыкның критик ярыкка чагыштырмасы. Критик ярык - сыек ышкылу коры ышкылуга күчү мөмкинлеген булган ярык

$$h_{кр.} = h_b + h_n + h_r,$$

монда

- h_b — вал өслегендәге тигезсезлекләрнең зурлыгы;
- h_r — бәйләнмәләрнең геометрик формаларының бозылуын исәпкә ала;
- h_n — вкладыш өслегендәге тигезсезлекләренә зурлыгы.

Тигезсезлекләрнең бирикелгән түбәндәге чикләрдә ята:

- алмаз белән кыру — $1,6 \cdot 10^{-3} \dots 0,3 \cdot 10^{-3}$ мм;
- чистартып шомарту — $0,8 \cdot 10^{-3} \dots 0,2 \cdot 10^{-3}$ мм;
- хонинглау — $0,4 \cdot 10^{-3} \dots 0,1 \cdot 10^{-3}$ мм;
- суперфиниш — $0,25 \cdot 10^{-3} \dots 0,05 \cdot 10^{-3}$ мм.

Ягъни h_b и h_n эшкәртүгә генә бәйле булалар һәм детальләр эшләгән вакытта кечерәяләр. h_r га килсәк, бәйләнмәдә күрәләтә югары төгәллек булдырыла һәм аны исәпкә алмыйлар.

$$H_{min} = 55 \cdot 10^{-9} \mu\text{nd}/(K_{ур} \chi_c),$$

монда

- μ - эшче температурада $T_{эш} = 373 \text{ K}$ (100°C) майның динамик үзлелеге (46 нчы таблицада алырга), $\text{H}\cdot\text{с}/\text{м}^2$;
- n - валның әйләнү ешлығы, $\text{әйл}/\text{мин}$;
- d - валның диаметры (шатун яисә төп муентыкларның), мм ;
- $K_{ур}$ - подшипникта уртача чагыштырма басым, МПа ;
- χ - чагыштырмача ярык

$$\chi = \Delta/d,$$

монда Δ - подшипник һәм вал арасындагы диаметрль ярык,

- шатун муенчалары өчен $\Delta = 0,007 \sqrt{d_{ш.м}}$, мм ;

- төп муенчалар өчен $\Delta = 0,0009 d_{т.м.}$, мм ;

- c - подшипниктагы валның геометрик характеристикасы

$$c = 1 + d/l,$$

монда d - вал диаметры, l - подшипник озынлығы.

46 нчы таблица

Май, $t_{эш} = 100^\circ \text{C}$	М6 ³ -10В	М-8ВА	М-14В2	М-10В2	М-10Г2	М-10ДМ
μ , $\text{H}\cdot\text{с}/\text{м}^2$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$8,43 \cdot 10^{-3}$	$13,6 \cdot 10^{-3}$	$7,16 \cdot 10^{-3}$	$9,12 \cdot 10^{-3}$	$11,3 \cdot 10^{-3}$

Ышанычлылык запас коэффициенты булырга тиеш

$$K = h_{\min}/h_{кр} > 2.$$

2.17. СУЫТУ СИСТЕМАСЫН ИСӘПЛӘУ

Курс проектында су насосын һәм жыллаткечне исәпләргә.

Суыту системасына жылылык күчерелә:

а) очкынлы кабынулы дүрттактлы двигатель өчен

$$Q_{суыт.} = c i D^{l+2m} n^m (H_u - \Delta H_u) / \alpha H_w \frac{Дж}{с}; \quad (2.91)$$

б) иктактлы дизельләр өчен

$$Q_{суыт.} = c i D^{l+2m} n^m l / \alpha \frac{Дж}{с},$$

монда

- D - цилиндр диаметры, см ;

- n - терсәкле валның әйләнү ешлығы, $\text{әйл}/\text{мин}$;

- H_u – ягулыкның түбән жылылык хасил итү мөмкинлеге, $\frac{МДж}{кг}$;
- ΔH_u – януның химик тулы булмаганлык коэффициенты, $\frac{МДж}{кг}$;
- α – артык һава коэффициенты;

47 нче таблица

Двигатель	Очкынлы кабызу белән	Дизель	Өрдөртүле дизель
c	$0,49 \pm 0,04$	0,48	0,53
m	$0,65 \pm 0,05$	0,63	0,68

Очкынлы кабызулы двигательнең цилиндр диаметры 60 мм кимрәк булган очракта $c=0,53$, цилиндр диаметры ~ 100 мм - $c=0,45$.

Максималь бөтерү моментына якин режимнарда $m=0,7$; номинальгә якин режимнарда $m=0,6$.

Тулаем алганда, суыту системасына тотылган номиналь егәрлек жылылык егәрлеге белән үзара үлчәнешле була

$$Q_{\text{суыт.}} [КДж/с] \approx (0,9 \dots 1,2) N_e [КВт].$$

Бер секундка суыту сыеклыгының чыгымы

$$G_{\text{сыек}} = \frac{Q_{\text{суыт.}} \left[\frac{Дж}{с} \right]}{c_{\text{сыекл.}} (t_{\text{чыгу}} - t_{\text{керу}})}, \frac{кг}{с}; \quad (2.92)$$

$t_{\text{чыгу}} - t_{\text{керу}} = 8^\circ$ дип кабул итәргә кирәк.

Суыту сыеклыкларының жылысыдырышлыгы $c_{\text{сыек}}$ (су – $4187 \frac{Дж}{кг \text{ град}}$; тосол А40 – $3350 \frac{Дж}{кг \text{ град}}$; тосол А65 – $3155 \frac{Дж}{кг \text{ град}}$)

2.17.1. Насосны исәпләү

Насос аша циркуляцион чыгым

$$G_u = \frac{G_{\text{сыек}}}{\eta_n \rho_{\text{сыек.}}}, \frac{м^3}{с},$$

монда

- $\eta_n = 0,87$ – бирү коэффициенты;
- $\rho_{\text{сыек}}$ – сыеклыкның тыгызлыгы

су- $\rho_{\text{сыек}} = 1000 \text{ кг/м}^3$;
 тосол А40- $\rho_{\text{сыек}} = 1072 \div 1078 \text{ кг/м}^3$;
 тосол А65- $\rho_{\text{сыек}} = 1085 \div 1090 \text{ кг/м}^3$.

1,5 м/с тизлек белән сыеклык насоска кергәндә керү тишеменң радиусы

$$r_1 = \sqrt{0,2G_{\text{ц}} + r_0^2},$$

монда $G_{\text{ц}} - \text{м}^3/\text{с}$, $r_0 - \text{м}$, 0,2 коэффициенты — с/м.

r_0 — насос валында канатчык компоновкасын конструктив фекерләрдән чыгып билгеләнә (10 нан 25 ммга кадәр).

Радиаль калакларда сыеклыкның әйләнү тизлегә

$$U_2 = \sqrt{p_{\text{сыек}} / (\rho_{\text{сыек}} \eta_h)}, \text{ м/с},$$

монда

- $p_{\text{сыек}}$ — насос ярдәмендә булдырылган басым

$$p_{\text{сыек}} = (120 \dots 150) \cdot 10^3 \text{ Па};$$

- η_h — насосның гидравлик ф.э.к., радиаль калаклар өчен

$$\eta_h = 0,55 \dots 0,6,$$

зуррак насослар өчен зуррак кыйммәт.

Чыгуда канатчыкның радиусы

$$r_2 = \frac{U_2}{\omega_{\text{нас.}}},$$

монда $\omega_{\text{нас.}}$ — насос валының почмакча тизлегә

$$\omega_{\text{нас.}} = \frac{2\pi n_{\text{нас.}}}{60}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Калакның киңлегә билгеләнә:

Кергәндә $b_1 = (0,01 \dots 0,035) \text{ м}$;

Чыкканда $b_2 = (0,004 \dots 0,025) \text{ м}$.

Калакларның саны 4 тән 8 гә кадәр, күбесенчә 6.

Насос тарафыннан кулланылган егәрлек

$$N_{\text{нас.}} = \frac{G_{\text{ц}} \cdot p_{\text{сыек.}}}{\eta_{\text{мех.}} \cdot 10^3}, \text{ кВт}, \quad (2.93)$$

монда $G_u - \text{м}^3/\text{с}$; $p_{\text{сыек.}} - \text{Н}/\text{м}^2$;

$\eta_{\text{мех}}$ — насосның механик ф.э.к.

металл калыпка коеп ясалган канатчыклар өчен $\eta_{\text{мех}} = 0,9$;

жиргә коеп ясалган канатчыклар өчен $\eta_{\text{мех}} = 0,65$.

Насос тарафыннан кулланылган егәрлек булырга тиеш

$$N_{\text{нас}} = (0,5 \dots 1,0 \%) N_e.$$

2.17.2. Жиллätкечне исäплäү

Жиллätкечнең житештерүчәнлеге

$$G_{\text{хава}} = \frac{Q_{\text{суыт.}}}{\rho_{\text{хава}} \cdot c_{\text{хава}} \cdot \Delta T_{\text{хава}}}, \quad (2.94)$$

- $\Delta T_{\text{хава}}$ — радиаторда температураның төшүе, $\Delta T_{\text{хава}} = 25^\circ$ дип кабул итәргә кирәк.

- $\rho_{\text{хава}}$ — радиаторда уртача температурада $T_{\text{ур}}$ һаваның тыгызлыгы

$$T_{\text{ур.}} = T_0 + \frac{\Delta T_{\text{хава}}}{2}$$

$T_0 = 333\text{K}$ (40°C) дип кабул итәргә кирәк;

$$\rho_{\text{хава}} = \frac{p_0 \cdot 10^6}{R_{\text{хава}} T_{\text{ур.}}} = \frac{101300}{287 \cdot 346} = 1,02, \text{ кг}/\text{м}^3;$$

- $c_{\text{хава}} = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ — һаваның жылысыйдырышлыгы.

Жиллätкечнең йөрткече өчен кирәкле булган егәрлек

$$N_{\text{жил.}} = \frac{G_{\text{хава}} \cdot \Delta p_{\text{тракт.}}}{\eta_{\text{жил.}}} 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (2.95)$$

-капот астындагы буш урынны жиллätү өчен жиллätкечнең басымы $\Delta p_{\text{тракт.}} = 800 \text{ Па}$ булырга тиеш, стационар жайланма булганда — $\Delta p_{\text{тракт.}} = 400 \text{ Па}$ дан күбрәк түгел;

- заклепкалап ясалган жиллätкечләр өчен $\eta_{\text{жил.}} = 0,38$, коеп ясалганнар өчен $\eta_{\text{жил.}} = 0,65$.

Радиаторның фронталь мәйданы

$$F_{\text{фр}} = G_{\text{хава}} / W_{\text{хава}}, \text{ м}^2,$$

монда $W_{\text{хава}}$ — радиатор каналларында һава тизлеге.

Курс проектында $W_{\text{нава}} = 8 \dots 10 \text{ м/с}$ га тигез.

Ул вакытта жыллаткеч диаметры

$$D_{\text{жыл.}} = 2 \sqrt{F_{\text{фр.}} / \pi}.$$

Жыллаткечнен эйләнү тизлегә

$$U_{\text{жыл.}} = \varphi_{\text{л}} \sqrt{\Delta p_{\text{тракт}} / \rho_{\text{нава}}}, \text{ м/с.}$$

Курс проектында $\varphi_{\text{л}} = 2,5$, $U = 70 \text{ м/с}$ дип кабул итәргә мөмкин.

Жыллаткечнен эйләнү ешлыгы

$$n_{\text{жыл}} = \frac{60 U_{\text{жыл.}}}{\pi D_{\text{жыл.}}}.$$

Әгәр дә исәпләгәндә жыллаткечнен диаметры кечкенә килеп чыкса ($D_{\text{жыл.}} < 0,15 \text{ м}$), бу очракта аеруча югары эйләнү ешлыгы $6000 \dots 9000 \text{ айл/мин}$ барлыкка килергә мөмкин. Мондый югары ешлыклы жыллаткеч тавыш белән эшли. Шуңа күрә, конструктив фикердән чыгып, жыллаткечнен диаметрын

$$D_{\text{жыл(билг)}} > 0,25, \text{ м}$$

дип билгеләргә һәм эйләнү ешлыгын билгеләнгән жыллаткеч диаметры белән исәпләргә кирәк

$$n_{\text{жыл}} = \frac{60 U}{\pi D_{\text{жыл(билг)}}}.$$

3. ИСЭПЛӘУ ҮРНӘКЛӘРЕ

3.1. БЕНЗИН ДВИГАТЕЛЕН ИСЭПЛӘУ ҮРНӘГЕ

Бирем: Бик кечкенә класслы, 36 *KВт* (49 л.с.) егәрлекле, 5200 *әйл/мин* әйләнү ешлыклы, рәтле, дүрт тактлы, дүрт цилиндрлы шәһәр автомобиле өчен двигатель проектларга. Төп ягулык – А-76 бензин. Кысу дәрәжәсен кабул итәбез $\varepsilon = 8,2$ (суыту системасы сыеклык белән булганда).

Бензин составы: $C=0,855$; $H=0,145$; $O=0$. Номиналь режимда катнашма составы $\alpha = 0,94$. 1 кг ягулыкка теоретик яктан исәпләгәндә кирәк булган һава күләме.

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,517 \frac{\text{КМоль һава}}{\text{кг ягулык}};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,956 \frac{\text{кг һава}}{\text{кг ягулык}}.$$

Тикшерү:

$$l_0 = \mu_{\text{һава}} \cdot L_0 = 28,96 \frac{\text{кг һава}}{\text{КМоль һава}} 0,517 \frac{\text{КМоль һава}}{\text{кг ягулык}} = 14,956.$$

Саф катнашмада мольләр микъдары

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_T} = 0,94 \cdot 0,517 + \frac{1}{120} = 0,4943 \frac{\text{КМоль саф.катн.}}{\text{кг ягулык}}.$$

Янган продуктларның составы (бензинда кислород юк)

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + \alpha \cdot 0,792 \cdot L_0 = \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,94 \cdot 0,792 \cdot 0,517 =$$

$$=0,5286 \frac{\text{КМоль барлык прод}}{\text{кг янган ягулык}}; \quad (*)$$

$$M_{CO} = 0,42 \frac{1-\alpha}{1+\kappa} L_o = 0,42 \frac{1-0,94}{1+0,49} \cdot 0,517 =$$

$$=0,0087 \frac{\text{КМольСО}}{\text{кг янган ягулык}};$$

$$M_{H_2} = \kappa \cdot M_{CO} = 0,49 \cdot 0,0087 = 0,0042 \frac{\text{КМольН}_2}{\text{кг янган ягулык}};$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - M_{CO} = \frac{0,855}{12} - 0,0087 = 0,0626 \frac{\text{КМольСО}_2}{\text{кг янган ягулык}};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - \kappa \cdot M_{CO} = \frac{0,145}{2} - 0,49 \cdot 0,0087 =$$

$$=0,0683 \frac{\text{КМольН}_2\text{О}}{\text{кг янган ягулык}};$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_o = 0,792 \cdot 0,94 \cdot 0,517 = 0,3849 \frac{\text{КМольН}_2}{\text{кг янган ягулык}};$$

$$M_2 = M_{CO} + M_{H_2} + M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} =$$

$$=0,0087+0,0042+0,0626+0,0683+0,3849= 0,5287 \frac{\text{КМоль}}{\text{кг ягулык}};$$

(*) формуласы буенча алынган аерма дүртенче билгедә генә.

$$r_{CO} = \frac{M_{CO}}{M_2} = \frac{0,0087}{0,5286} = 0,0164;$$

$$r_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{M_2} = \frac{0,0042}{0,5286} = 0,008;$$

$$r_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_2} = \frac{0,0626}{0,5286} = 0,1184;$$

$$r_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_2} = \frac{0,0683}{0,5286} = 0,1292;$$

$$r_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_2} = \frac{0,3849}{0,5286} = 0,7281.$$

$\sum_{i=1}^5 r_i = 1,0001$, исәпләмәнең төгәллегенә тулысынча житәрлек.

Моль үзгәрүе коэффициенты

$$\mu_o = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,5286}{0,4943} = 1,07.$$

Газ алмашу параметрлары

$p_o = 0,1013 \text{ МПа}$; $T_o = 293 \text{ К}$; $p_r = 1,19 \cdot 0,1013 = 0,12 \text{ МПа}$;
 $T_r = 1000 \text{ К}$; $\Delta T = 12$ (цилиндрның кечкенә күләме һәм уртача әйләнү ешлыгының житәрлек булуыннан чыгып языла).

$$\rho_{кор.} = \frac{p_o}{R \cdot T_o} = \frac{0,1013 \cdot 10^6}{287 \cdot 293} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Кертү коллекторында басымны югалту.

Аэродинамик каршылыктар һәм цилиндрдагы агымның кичкәю югалтуларын $(\beta^2 + \xi_{кертү}) = 3,3$ һәм клапан киселешендә катнашманың тизлеген $W = 80 \text{ м/с}$ дип кабул итәбез (§1.2 һәм §2.3.1 кара)

$$\Delta p = (\beta^2 + \xi_{кертү}) \frac{\rho_{кор.} W^2}{2} = 3,3 \cdot \frac{1,2 \cdot 80^2}{2} = 12672 \text{ Па} = 0,0127 \text{ МПа}$$

Кертү ахырында басым

$$p_a = p_o - \Delta p_a = 0,1013 - 0,0127 = 0,0886 \text{ МПа}$$

Газ алмашуның сыйфатын билгеләүче параметрлар. Номиналь режимда өстәмә корылманың коэффициентын кабул итәргә $\varphi_{ос.кор.} = 1$. Калдык газларның коэффициенты

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varphi_{ос. кор.} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r} =$$

$$= \frac{293 + 12}{1000} \cdot \frac{0,12}{1 \cdot 8,2 \cdot 0,0886 - 0,12} = 0,06.$$

Тутыру коэффициентты

$$\eta_v = \frac{T_o}{T_o + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{\varphi_{\text{тс.кор.}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r}{p_o} =$$

$$= \frac{293}{293 + 12} \cdot \frac{1}{8,2 - 1} \cdot \frac{1 \cdot 8,2 \cdot 0,0886 - 0,12}{0,1013} = 0,8.$$

Тутыру ахырында эшче жисемнең параметрлары

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 12 + 0,06 \cdot 1000}{1 + 0,06} = 344 \text{ K } (71^\circ \text{C});$$

$$p_a = 0,0886 \text{ МПа}.$$

Чын моль үзгөрүлөренен коэффициентты

$$\mu_o = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,07 + 0,06}{1 + 0,06} = 1,066.$$

Кысу процессы

Диаметры 70 мм тирәсе булган цилиндрлар өчен $n_1 = 1,35$ дип кабул итәргә.

Кысу ахырында басым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,0886 \cdot 8,2^{1,35} = 1,517 \text{ МПа}.$$

Температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 344 \cdot 8,2^{1,35 - 1} = 718 \text{ K } (445^\circ \text{C}).$$

А-76 бензины өчен тулысынча рөхсәт ителә.

Кысу ахырында эшче жисемнең энергиясе.

Һаваның мольле жылысыйдырышлылыгы

$$c_{v_{\text{Һава}}}^{445} = 20,5 + 2,638 \cdot 445 \cdot 10^{-3} = 21,77 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}}$$

калдык газларның мольле жылысыйдырышлылыгын 24 нче таблицадаң алырга

$$c_{v_{\text{к.г.}}}^{400} = 23,59 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}};$$

$$c_{v_{к.г.}}^{500} = 24,00 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}},$$

ул вакытта $t_c = 445^\circ\text{C}$ өчен калдык газларның мольле жылысыйдырышлыгы

$$\begin{aligned} c_{v_{к.г.}}^{445} &= c_{v_{к.г.}}^{400} + \frac{c_{v_{к.г.}}^{500} - c_{v_{к.г.}}^{400}}{100^\circ\text{C}} \cdot 45^\circ\text{C} = 23,59 + \frac{24,00 - 23,59}{100} \cdot 45 = \\ &= 23,775 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}}. \end{aligned}$$

Эшче жисемнең мольле жылысыйдырышлыгы

$$\begin{aligned} c_v^{445} &= \frac{c_{v_{нава}}^{445} + \gamma_r c_{v_{к.г.}}^{445}}{1 + \gamma_r} = \\ &= \frac{21,77 + 0,06 \cdot 23,775}{1 + 0,06} = 21,88 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}} \end{aligned}$$

$$U_c^{445} = c_v^{445} \cdot t_c = 21,88 \cdot 445 \cdot 10^{-3} = 9,737 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}.$$

Яну вакытында жылылыкны китереп житкерү

Януның химик тулы булмаганлык коэффициенты

$$\begin{aligned} \Delta H_u &= 287 M_{CO} + 240 M_{H_2} = \\ &= 287 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль CO}} \cdot 0,0087 \frac{\text{КМоль}}{\text{кг ягулык}} + 240 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль H}_2} \times \\ &\times 0,0042 \frac{\text{КМоль}}{\text{кг ягулык}} = 3,5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг ягулык}} \\ \chi &= \frac{H_u - \Delta H_u}{H_u} = \frac{44 - 3,5}{44} = 0,92; \end{aligned}$$

Жылылык куллану коэффициентын $\xi_z = 0,92$ дип кабул итәргә. Яну вакытында бүленеп чыккан жылылык микъдары

$$Q_{\text{яну}} = \frac{\xi_z \chi H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} = \frac{0,92 \cdot 0,92 \cdot 44}{0,4943 \cdot (1 + 0,06)} = 71,08 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль эшче кат.}}$$

Эшче катнашманың бары тик 1 КМольгә генә житкерелгән энергиясе

$$U_{\text{эчке}}'^z = U_c^{445} + Q_{\text{яну}} = 9,737 + 71,08 = 80,8 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}}$$

Икенче яктан караганда, чын моль үзгәрүләрен исәпләп, яну ахырында эшче жисемнен эчке энергиясе

$$U_{\text{эчке}}'^z = \mu_0 \cdot c_v'^z \cdot t_z;$$

моннан

$$c_v'^z \cdot t_z = \frac{U_{\text{эчке}}'^z}{\mu_0} = \frac{80,8}{1,066} = 75,8 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}},$$

монда

$$c_v'^z = c_v'^z_{CO} \cdot r_{CO} + c_v'^z_{CO_2} \cdot r_{CO_2} + \\ + c_v'^z_{H_2O} \cdot r_{H_2O} + c_v'^z_{H_2} \cdot r_{H_2} + c_v'^z_{N_2} \cdot r_{N_2}$$

1501...2800 К температура диапазонында

$$c_{vCO}'^z = (22,49 + 0,00143t_z) \cdot r_{CO} = \\ = (22,49 + 0,00143t_z) 0,0164 = 0,3688 + 0,000023t_z;$$

$$c_{vCO_2}'^z = (39,123 + 0,003349t_z) \cdot r_{CO_2} = \\ = (39,123 + 0,003349t_z) 0,1184 = 4,6322 + 0,0004t_z;$$

$$c_{vH_2O}'^z = (26,67 + 0,004438t_z) \cdot r_{H_2O} = \\ = (26,67 + 0,004438t_z) 0,1292 = 3,4458 + 0,00057t_z;$$

$$c_{vH_2}'^z = (19,678 + 0,001758t_z) \cdot r_{H_2} = \\ = (19,678 + 0,001758t_z) 0,008 = 0,1571 + 0,000014t_z;$$

$$c_{vN_2}'^z = (21,95 + 0,001457t_z) \cdot r_{N_2} = \\ = (21,95 + 0,001457t_z) 0,7281 = 15,9818 + 0,00106t_z;$$

шулай итеп

$$c_v^{t_z} = \sum_{i=1}^5 c_{v_i} \cdot r_i = 24,5857 + 0,00207 t_z ;$$

беренчедән

$$c_v^{t_z} \cdot t_z = 75,8 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}} = 75800 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль}},$$

тигезләмә төзибез

$$0,00207 t_z^2 + 24,5857 t_z - 75800 = 0,$$

исәплибез

$$t_z = \frac{-24,5857 + \sqrt{24,5857^2 + 4 \cdot 0,00207 \cdot 75800}}{2 \cdot 0,00207} = 2538^\circ \text{C},$$

$$T_z = t_z + 273 = 2811 \text{ K}.$$

Күренеп торган яну ахырында басым

$$p_z = \mu_o \cdot p_c \frac{T_z}{T_c} = 1,06 \cdot 1,517 \frac{2811}{718} = 6,3 \text{ МПа};$$

басым күтәрелү дәрәжәсе

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{6,3}{1,517} = 4,17.$$

Киңәю процессы

Киңәю политропы күрсәткече $n_2 = 1,25$.

Басым

$$p_e = p_z / \varepsilon^{n_2} = 6,3 / 8,2^{1,25} = 0,4561 \text{ МПа}.$$

Температура

$$T_e = T_z / \varepsilon^{n_2-1} = 2811 / 8,2^{0,25} = 1661 \text{ K} (1388^\circ \text{C}).$$

Тикшерү

$$T_r = T_e / \sqrt[3]{\frac{p_e}{p_r}} = 1661 / \sqrt[3]{\frac{0,4561}{0,12}} = 1064 \text{ K}.$$

$T_r = 1000 \text{ K}$ дип кабул ителде,

$$\text{хата } \Delta = \frac{1064 - 1000}{1000} \cdot 100 = 6,4 \% \text{ рөхсәт ителә.}$$

Индикатор күрсәткечләр

Уртача индикатор басым

$$\begin{aligned} p_i &= \frac{0,95 \cdot p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] = \\ &= \frac{0,95 \cdot 1,517}{7,2} \left[\frac{4,17}{1,25 - 1} \left(1 - \frac{1}{8,2^{1,25 - 1}} \right) - \frac{1}{1,35 - 1} \left(1 - \frac{1}{8,2^{1,35 - 1}} \right) \right] = \\ &= 1,068 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Индикаторлы ф.э.к.

$$\eta_i = \frac{p_i l_o \alpha}{H_u \rho_o \eta_v} = \frac{1,068 \cdot 14,956 \cdot 0,94}{44 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 0,3554.$$

Ягулыкның индикатор чагыштырма тотылуы

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = \frac{3600}{44000 \cdot 0,3554} = 0,2302 \text{ кг/КВт·сәг.}$$

Механик югалтулар

Пешкәкнең уртача тизлеген $c_n = 15 \text{ м/с}$ дип кабул итәбез (§1.10 кара).

Механик югалтулар

$$p_m = 0,034 + 0,0113 \cdot c_n = 0,034 + 0,0113 \cdot 15 = 0,2035 \text{ МПа.}$$

Эффектив күрсәткечләр

Уртача эффектив басым

$$p_e = p_i - p_m = 1,068 - 0,2035 = 0,8645 \text{ МПа.}$$

Механик ф.э.к.

$$\eta_m = p_e / p_i = 0,8645 / 1,068 = 0,8094.$$

Эффектив ф.э.к.

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,3554 \cdot 0,8094 = 0,2877.$$

Ягулыкның эффектив чагыштырма тотылуы

$$g_e = g_i / \eta_m = 0,2302 / 0,8094 = 0,2844 \text{ кг/КВт·сәг.}$$

Геометрик параметрлар

Бер цилиндрның эш күләме

$$V_h = \frac{120 N_e}{i \cdot p_e \cdot n} = \frac{120 \cdot 36}{4 \cdot 0,8645 \cdot 5200} = 0,24 \text{ л.}$$

Цилиндрның диаметры

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot K}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 240 \text{ см}^3}{3,14 \cdot 0,9}} = 6,98 \text{ см.}$$

Шәһәр автомобиле өчен югары динамик сыйфат таләп ителгәнгә күрә $K=0,9$ дип алабыз. Цилиндрның диаметрын $D=72$ мм дип кабул итәбез һәм пешкәкнең йөреше

$$S = \frac{V_h \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{240 \text{ см}^3 \cdot 4}{3,14 \cdot 7,2^2 \text{ см}^2} = 5,9 \text{ см} = 59 \text{ мм.}$$

Эффектив күрсәткечләр:

$$M_{e \text{ ном.}} = 9554 \frac{N_{e \text{ ном.}}}{n_{\text{ном.}}} = 9554 \frac{36}{5200} = 66,14 \text{ Нм};$$

$$g_{e \text{ ном.}} = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{3600}{44000 \cdot 0,2877} = 0,2844 \text{ кг/КВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} \cdot \text{г};$$

$$G_{T \text{ ном.}} = g_{e \text{ ном.}} \cdot N_{e \text{ ном.}} = 0,2844 \cdot 36 = 10,24 \text{ кг/с} \cdot \text{с} \cdot \text{г}.$$

Тышкы тизлекле характеристиканың төзелеше

$$N_{ex} = N_{e \text{ ном.}} \cdot \frac{n_x}{n_{\text{ном.}}} \left[1 + \frac{n_x}{n_{\text{ном.}}} - \left(\frac{n_x}{n_{\text{ном.}}} \right)^2 \right], \text{ КВт},$$

$$M_{ex} = 9554 \frac{N_{ex}}{n_x}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$g_{ex} = g_{e \text{ ном.}} \left[1,2 - 1,2 \frac{n_x}{n_{\text{ном.}}} + \left(\frac{n_x}{n_{\text{ном.}}} \right)^2 \right], \text{ кг/КВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} \cdot \text{г},$$

$$G_{Tx} = g_{ex} N_{ex}, \text{ кг/с} \cdot \text{с} \cdot \text{г}.$$

48 нче таблица

n_x	600	2000	3000	4000	5000	6500
N_{ex}	4,58	17,12	25,8	32,6	35,91	30,8
M_{ex}	72,93	81,78	82,16	77,86	68,92	45,27
g_{ex}	0,306	0,252	0,239	0,247	0,276	0,359
G_{Tx}	1,4	4,31	6,17	8,05	9,91	10,96

$n_x, N_{ex}, M_{ex}, g_{ex}, G_{Tx}$ нокталары буенча тышкы тизлекле характеристиканы төзибез, $n_m \approx 2500$ айл/мин булганда двигатель максималь бөтерүче момент $M_{e\max} \approx 82,5$ Нм га ирешә.

Тизлекле коэффициент

$$K_c = n_m / n_{ном} = 2500 / 5200 = 0,48.$$

Яраклашу коэффициенты

$$K_n = M_{e\max} / M_{e\text{ ном}} = 82,5 / 66,14 = 1,247$$

Индикаторлы диаграмманы төзү

Индикаторлы диаграмма $p_x = p(S)$.

Яну камерасының V_c күрсәтелгән биеклегә

$$h_{к.с.} = \frac{S}{\varepsilon - 1} = \frac{66}{8,2 - 1} = 9,17 \text{ мм.}$$

Цилиндрның тулысынча $V_a = V_c + V_h$ күрсәтелгән биеклегә

$$h_{ц} = 66 + 9,17 = 75,17 \text{ мм.}$$

1.Кертү процессы $p_a = 0,0886$ МПа (изобарлы процесс).

2.Кысу процессы: АТНдан ӨТН га кадәр пешкәкнең йөреше

49 нчы таблица

S	АТН	11	22	33	44	55	ӨТН
Пешкәк өстендәге биеклек	75,17	64,17	53,17	42,17	31,17	20,17	9,17
V_a / V_x	1	1,17	1,41	1,78	2,41	3,727	8,2
$p_x = p_a (V_a / V_x)^{1,35}$	0,0886	0,11	0,14	0,19	0,29	0,52	1,517
p_z МПа							6,3

3.Киңәю процессы: ӨТН дан АТН га пешкәкнең йөреше

50 нче таблица

S	ӨТН	11	22	33	44	55	66
Пешкэк өстендәге биеклеке	9,17	20,17	31,17	42,17	53,17	64,17	75,17
V_x/V_c	1	2,2	3,4	4,6	5,8	7	8,2
$p_x=p_z/(V_x/V_c)^{1,25}$	6,3	2,35	1,36	0,93	0,7	0,55	0,45

4.Чыгару процессы $p_r=0,12 \text{ МПа}$ (изобарлы процесс).

Шулай итеп, кысу һәм киңәю процессларын төзәргә жидешәр нокта бар. Билгеле булган нокталарны кулланып (a, c, z, b, r) теоретик (термодинамик) индикаторлы диаграмма төзибез. Реаль (чын) индикаторлы диаграмма төзегәндә §2.12 күрсәтелгән нокталарны кулланабыз: $r', a', b'_{\text{чын}}, a'', c', f, c'', z_{\text{чын}}, b$.

Кинематик һәм динамик йөкләнешләр төзү

Кинематиканы исәпләләндә 2.13 параграфындагы аңлатманы кулланабыз. Исәплибез:

күчешне $S(\varphi) = R[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)],$

тизлекне $V(\varphi) = \omega R(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi),$

тизләнешне $j(\varphi) = R\omega^2(\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi).$

Биредә:

- кривошипның радиусы $R=S/2=0,066/2=0,033 \text{ м};$

- $\lambda=R/L_{\text{ш}}=0,28;$

- номиналь режимда почмак тизлеге

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5200}{60} = 544 \text{ с}^{-1}$$

Күчешнең, тизлекнең һәм тизләнешнең графикларын төзибез.

Пешкэк тизлегенең исәпләмәсе 51 нче таблицада күрсәтелгән. Терсәкле валның борылыш почмакларында $\varphi=75^\circ..80^\circ$ һәм $\varphi=280^\circ..285^\circ$ пешкэкнең тизлеге иң зур кыйммәткә ирешә

$$V_{\text{max}} \approx 18,6..18,7 \text{ м/с.}$$

Бу борылыш почмагына пешкэкнең күчеше туры килә:

51 нче таблица

φ	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Билге	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$(\sin \varphi + \lambda/2 \sin 2\varphi)$	0	0,432	0,781	0,99	1,03	0,937	0,745	0,505	0,252	0
φ	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180
Билге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$V, \text{ м/с}$	0	7,8	14	17,8	18,54	16,9	13,4	9,1	4,5	0

52 нче таблица

φ°	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Билге	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
$(\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$	1,28	1,15	0,81	0,36	0,09	0,44	0,64	0,72	0,72	0,72
Билге	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
φ°	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180
$j, \text{ м/с}^2$	12500	11231	7910	3516	879	4297	6250	7032	7032	7032

$$S=R[(1-\cos\varphi)+\lambda/4(1-\cos2\varphi)]=$$

$$=0,033[(1-\cos80^\circ)+0,24/4(1-\cos160^\circ)]=0,0317 \text{ м.}$$

Шулай итеп, газ ялганышыннан 30...32 мм ара ераклыгында цилиндр көзгесенен иң зур тузуы көтелә.

Пешкәк тизләнешенен исәпләмәсе 52 нче таблицада күрсәтелгән. Терсәкле валның борылыш почмакларында $\varphi=0^\circ$ һәм $\varphi=360^\circ$ тизләнеш максималь кыйммәткә ирешә

$$j_{\max}=12500 \text{ м/с}^2.$$

Реаль (чын) индикаторлы диаграмманы Брикс методикасы буенча жәелдерәбез (§2.12 һәм 53 нче рәсемне кара). Брикс төзәтмәсе

$$R=\frac{S\lambda}{4}=\frac{66\cdot0,28}{4}=4,62 \text{ мм.}$$

Барлыкка килә индикаторлы диаграмма $p_{\text{газ}}=p(\varphi)$. Монда:

1.Кертү процессы φ 0° дән 180° кадәр үзгәрә.

Процесс моделе $p_{\text{газ}}=p_a=0,0886 \text{ МПа}$ (изобарлы процесс).

2.Кысу процессы

53 нче таблица

φ	210	240	270	300	330	360	365
$p_{\text{газ}}, \text{ МПа}$	0,09	0,11	0,15	0,3	0,8	1,57	6,3

3.Киңәю процессы

54 нче таблица

φ	390	420	450	480	510	540
$p_{\text{газ}}, \text{ МПа}$	3,16	1,4	0,84	0,52	0,47	0,45

4.Терсәкле валның 540° тан 720° гә кадәр борылуы чыгару процессы була. Изобарлы процесс $p_{\text{газ}}=p_r=0,12 \text{ МПа}$.

Пешкәккә тәэсир итүче көчләр:

а) Газ көче $P_{\text{газ}}=(p_{\text{газ}}-p_o)F_{\text{пешк.}}, \text{ МН,}$
максималь кыйммәте

$$P_{\text{газ}}=\frac{\pi \cdot D^2}{4}(0,85 \cdot p_z - p_o)=\frac{3,14 \cdot 0,072^2}{4}(0,85 \cdot 6,3 - 0,1013)=$$

$$=0,0227 \text{ МН.}$$

Алюминий эретмәле пешкәкнең массасы (бармакча белән бергә)

$$m_{\text{пешк.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} m'_{\text{пешк.}} = \frac{3,14 \cdot 0,072^2 \text{ м}^2}{4} \cdot 85 \text{ кг/м}^2 = 0,346 \text{ кг.}$$

Штамповкаланган корыч шатунның массасы

$$m_{\text{шат.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} m'_{\text{шат.}} = \frac{3,14 \cdot 0,072^2 \text{ м}^2}{4} \cdot 110 \text{ кг/м}^2 = 0,44 \text{ кг.}$$

Бармакча күчәренә караган шатунның массасы

$$m_{\text{шат.к-а}} = 0,25 \cdot m_{\text{шат.}} = 0,25 \cdot 0,44 = 0,12 \text{ кг.}$$

Пешкәк бармакчасының күчәренә китерелгән гомумиләштерелгән масса (кире кайтма-алга баручы масса)

$$m_{\text{к-а}} = m_{\text{пешк.}} + m_{\text{шат.к-а}} = 0,346 + 0,12 = 0,47 \text{ кг.}$$

б) Инерция көче $P_j = -m_{\text{к-а}} \cdot j$, МН

максималь кыйммәте

$$P_j = -m_{\text{к-а}} \cdot j_{\text{max}} = -0,47 \cdot 12500 = -5875 \text{ Н} = -0,005875 \text{ МН.}$$

Шулай итеп, пешкәккә тәэсир итүче көч

$$P_n = P_{\text{газ}} + P_j, \text{ МН.}$$

Жәелдерелгән индикаторлы диаграммада $p_{\text{газ}} = p(\varphi)$ тагын төзибес:

- инерция басымын $p_j = P_j / F_{\text{пешк.}}$, МПа;
- пешкәккә тәэсир итүче басымны $p_n = P_n / F_{\text{пешк.}}$, МПа.

Динамик йөкләнешләрне исәпләгәндә:

1. Пешкәккә тәэсир итүче көчне $P_n = P_{\text{газ}} + P_j$ МНда төзибес (54нче рәсемне кара).
2. Цилиндр күчәренә перпендикуляр булган нормаль көчне исәплибес һәм төзибес $N = P_n \cdot \tan \beta$, МН.
3. Шатунның күчәре буенча юнәлгән көчне исәплибес һәм төзибес $S = P_n / \cos \beta$, МН.
4. Кривошип радиусына карата тангенциаль көчне исәплибес һәм төзибес $T = P_n \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$, МН,
5. Кривошипның радиусы буенча юнәлгән көчне исәплибес

һәм төзибез $K = P_n \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$, МН.

монда $\operatorname{tg} \beta = f(\varphi)$, $1/\cos \beta = f(\varphi)$, $\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = f(\varphi)$

һәм $\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = f(\varphi)$ функцияларен [1,2] таблицаларынан кыйммәтләрән алабыз.

Пешкәкне исәпләү

36 нчы таблица буенча $D=0,072$ м диаметрлы итеп кабул ителгән пешкәктән чыгыш билгеләргә:

Материалы – алюминий эретмә $\alpha_n=22 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$;

$H=60$ мм;

$h_1=34$ мм;

$\delta=6,5$ мм;

$d_{бар.}=18$ мм;

$d_{эчк.}=12$ мм;

$l_{бар.}=62$ мм;

$l_{ш}=28$ мм;

$h_{мот.}=3,2$ мм;

$S=5$ мм;

$t=3$ мм.

Радиаль ярык $\Delta t=0,7$ мм, $\sigma_{итәг.}=2$ мм, $h_{итәг.}=43$ мм

Май каналлары: 8 канал $d_{май кан.}=1,0$ мм.

Костин критерие (өрдертүсез двигатель өчен)

$$q_n = bc_n^{0,5} \left[\frac{D}{\eta_v p_o} \right]^{0,38} \cdot [p_e g_e]^{0,88} =$$

$$= 4,27 \cdot 11,44^{0,5} \left[\frac{0,072}{0,8 \cdot 0,1013} \right]^{0,38} \cdot [0,84 \cdot 0,293]^{0,88} = 4,02$$

$q_n=4$ кыйммәте бирелгән конструкцияне һәм пешкәк материалын тулысынча рөхсәт итә.

Пешкәк төбен исәпләү

$$d_i = D - 2(S + t + \Delta t) = 72 - 2(5 + 3 + 0,7) = 54,6 \text{ мм}$$

$$r_i = D/2 = 27,3 \text{ мм.}$$

Бөгелешнең көчәнеше

$$\sigma_{\text{б\oз.}} = 1,3 \cdot p_z \left(\frac{r_i}{\delta} \right)^2 = 1,3 \cdot 6,3 \left(\frac{27,3}{6,5} \right)^2 = 144,47 \text{ МПа}$$

Исәпләнгән кыйммәт $25 < \sigma_{\text{б\oз.}} < 150 \text{ МПа}$ төптә кабыргаларның катылыкка куллануны таләп итә һәм катылык таләпләрен канәгатьләндерә.

Алюминий эретмәләрдән эшләнгән пешкәктәге жылылык көчәнешләренен исәпләмәсен проект шартлары буенча төшереп калдырырга.

Канау төбе буенча пешкәкнең диаметры

$$d_k = D - 2(t + \Delta t) = 72 - 2(3 + 0,7) = 64,6 \text{ мм.}$$

Май каналының киселеш мәйданы

$$F' = [(d_k - d_i)/2] d_{\text{май кан.}} = [(64,6 - 54,6)/2] \cdot 1 = 5 \text{ мм}^2.$$

Йөкләмәне кабул итүче мәйдан

$$F_{x-x} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_i^2) - 8 \cdot F' = \\ = \frac{3,14}{4} (64,6^2 - 54,6^2) - 8 \cdot 5 = 896 \text{ мм}^2 = 0,000896 \text{ м}^2.$$

Кысылу көчәнеше

$$\sigma_{\text{кыс.}} = 0,85 \cdot p_z \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot F_{x-x}} = 0,85 \cdot 6,3 \frac{3,14 \cdot 0,72^2}{4 \cdot 0,000896} = 25 \text{ МПа.}$$

$n_{\text{max}} = 6500 \text{ әйл/мин}$ булганда буш йөрешнең максималь почмак тизлегә

$$\omega_{\text{max}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{max}}}{60} = \frac{6,28 \cdot 6500}{60} = 680 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Божралары белән бергә головканың массасы

$$m_{x-x} \cong 0,5 m_n = 0,5 \cdot 0,346 = 0,173 \text{ кг.}$$

Максималь өзелә торган көч

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{\text{max}}^2 (1 + \lambda) = 0,173 \cdot 0,033 \cdot 680^2 (1 + 0,28) = 0,00338 \text{ МН.}$$

Өзелү көчәнеше

$$\sigma_{\text{өз}} = \frac{P_j}{F_{x-x}} = \frac{0,00338 \text{ МН}}{0,000896 \text{ м}^2} = 3,77 \text{ МПа.}$$

Өске божралы тоташтыргычта киселеш көчәнеше

$$\tau_{\text{кис}} = 0,0314 \cdot 0,85 \cdot p_z \frac{D}{h_{\text{мом}}} = 0,0314 \cdot 0,85 \cdot 6,3 \frac{72}{3,2} = 3,88 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{бөг}} = 0,0045 \cdot 0,85 \cdot p_z \left(\frac{D}{h_{\text{мом}}} \right)^2 = 0,0045 \cdot 0,85 \cdot 6,3 \left(\frac{72}{3,2} \right)^2 = 12,53 \text{ МПа}.$$

Катлаулы көчәнеш

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{\text{бөг}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{кис}}^2} = \sqrt{12,53^2 + 4 \cdot 3,88^2} = 14,7 \text{ МПа}.$$

Цилиндр стeнасына басым

$$q_1 = N_{\text{max}} / h_{\text{итэг}} \cdot D = 2,2 \text{ КН} / (43 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 10^{-3}) = 0,710 \text{ МПа};$$

$$q_2 = N_{\text{max}} / H \cdot D = 2,2 \text{ КН} / (60 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 10^{-3}) = 0,51 \text{ МПа}.$$

Пешкэк головкасында жылылык аралыгы

$$\Delta_r = 0,007D = 0,5 \text{ мм},$$

итэгeндө

$$\Delta_{\text{итэг}} = 0,002D = 0,144 \text{ мм}.$$

Двигательне сыеклык белән суытканда кабул итэргә:

- цилиндрның температурасын $T_y = 383 \text{ К} (110^\circ\text{C})$;
- пешкэк головкасының температурасын $T_{\text{гол}} = 593 \text{ К} (310^\circ\text{C})$;
- пешкэк итэгeнeң температурасын $T_{\text{итэг}} = 413 \text{ К} (140^\circ\text{C})$.

$$D_{\text{гол}} = D - \Delta_r = 72 - 0,5 = 71,5 \text{ мм};$$

$$D_{\text{итэг}} = D - \Delta_{\text{итэг}} = 72 - 0,144 = 71,856 \text{ мм}.$$

Алюминий эретмә өчен $\alpha_n = 22 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$,

чуен өчен $\alpha_y = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

Жылытылган двигательдә аралыклар түбeндөгe кыйммeтne алалар:

$$\Delta_{\text{гол}}^1 = D[1 + \alpha_y(T_y - T_o)] - D_{\text{гол}}[1 + \alpha_n(T_{\text{гол}} - T_o)] = \\ = 72[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 273)] - 71,5[1 + 22 \cdot 10^{-6}(593 - 273)] = 0,1 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{итэг}}^1 = D[1 + \alpha_y(T_y - T_o)] - D_{\text{итэг}}[1 + \alpha_n(T_{\text{итэг}} - T_o)] = \\ = 72[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 273)] - 71,856[1 + 22 \cdot 10^{-6}(413 - 273)] = 0,003 \text{ мм}$$

Рөхсeт ителгән аралыкка караганда исeплeнгән аралык кeчкe-нәрeк

$$\Delta_{\text{итэг}}^1 = 0,003 \text{ мм} < 0,0005 \cdot D = 0,0005 \cdot 72 = 0,036 \text{ мм}.$$

Кысылып калу һәм өслекләрнең сыдырылуы булмасын өчен, түбәндәгечә билгеләргә:

$$\Delta_{итәг.} = 0,2 \text{ мм}, \quad D_{итәг.} = 71,8 \text{ мм}.$$

Ул вакытта

$$\begin{aligned} \Delta^1_{итәг} &= D[1 + \alpha_{\eta}(T_{\eta} - T_o)] - D_{итәг}[1 + \alpha_n(T_{итәг} - T_o)] = \\ &= 72[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 273)] - 71,8[1 + 22 \cdot 10^{-6}(413 - 273)] = 0,059 \text{ мм} \end{aligned}$$

Пешкәк божраларын исәпләү

Исәпләү өчен түбәндәгеләрне кабул итәргә:

Материалның сыгымалылык модуле $E = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Божраның радиаль калынлыгы $t = 0,04 \cdot D = 3 \text{ мм}$.

Иреккә һәм эшчә хәлдә бикләвеч ярыгының зурлыгы аермасы $A_o = 3t = 9 \text{ мм}$.

Цилиндр стенасында божраның уртача басымы

$$\begin{aligned} p_{ур.} &= 0,152 E \cdot \frac{A_o / t}{\left[\frac{D}{t} - 1 \right]^3 \cdot \frac{D}{t}} = \\ &= 0,152 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{9/3}{\left(\frac{72}{3} - 1 \right)^3 \cdot \frac{72}{3}} = 0,343 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

$0,343 < [0,37]$, димәк, рөхсәт ителә.

Компрессион божраның басым эпюрасы

55 нчы таблица

φ , град	0	30	60	90	120	150	180
μ_k	1,05	1,05	1,14	0,9	0,45	0,67	2,85
p , МПа	0,36	0,36	0,39	0,31	0,154	0,23	0,98

Эшләү хәлендә божра бөгелешенәң көчәнеше

$$\sigma_{бөг.1} = 2,61 \cdot p_{ур} \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2 = 2,61 \cdot 0,343 \cdot \left(\frac{72}{3} - 1 \right)^2 = 473 \text{ МПа}.$$

Кидергән вакытта божра бөгелешенәң көчәнеше

$$\sigma_{\text{б\oт.2}} = \frac{4E(1 - 0,114A_0/t)}{m\left(\frac{D}{t} - 1,4\right)\frac{D}{t}} = \frac{4 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \left(1 - 0,114 \cdot \frac{9}{3}\right)}{1,57\left(\frac{72}{3} - 1,4\right) \cdot \frac{72}{3}} = 680 \text{ МПа.}$$

Корыч божралар өчен бу рөхсәт ителә.

Божра бикләвечендә монтажлы ярык ($\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, $T_k = 493 \text{ K}$, $T_y = 383 \text{ K}$)

$$\Delta_k = 0,06 + \pi \cdot D [\alpha(T_k - T_y)] = 0,06 + 3,14 \cdot 72 [11 \cdot 10^{-6} (493 - 383)] = 0,33 \text{ мм.}$$

Пешкәк бармакчасын исәпләү

Исәпләмәле режим – максималь бөтерүче момент әйләнешләре – тышкы тизлекле характеристика төзелеше буенча:

$n_m = 2500 \text{ әйл/мин}$; $p_{z \text{ чын. Me}} = 1,13 p_{z \text{ чын Ne}}$ (жылылык исәпләмәсе бер режимда үткәрелгән).

—номиналь режимында яну ахырында пешкәккә басымның исәпләмәле кыйммәте

$$p_{z \text{ чын Ne}} = 0,85 p_z = 0,85 \cdot 6,3 = 5,36 \text{ МПа.}$$

- максималь бөтерүче момент режимында яну ахырында пешкәккә басымның исәпләмәле кыйммәте

$$p_{z \text{ чын Me}} = 1,13 p_{z \text{ чын Ne}} = 1,13 \cdot 5,36 = 6,05 \text{ МПа.}$$

Газларның басым көче

$$P_{z \text{ max}} = p_{z \text{ чын Me}} \frac{\pi D^2}{4} = 6,05 \cdot \frac{3,14 \cdot (72 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,0246 \text{ МН};$$

$$\omega_{\text{Me}} = \frac{2\pi n_m}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2500}{60} = 261,66 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

инерция көче

$$P_{j \text{ Me}} = -m_{\text{пешк.}} R \omega_{\text{Me}}^2 (1 + \lambda) = -0,346 \cdot 0,033 \cdot 261,66^2 (1 + 0,28) = -1002 \text{ Н} = -0,001 \text{ МН.}$$

Бармакчага тәэсир итүче суммар көч

$$P_{\text{бар}} = P_{z \text{ max}} + \kappa P_{j \text{ Me}} = 0,0246 - 0,82 \cdot 0,001 = 0,02378 \text{ МН.}$$

Бармакчаның үлчәмнәрен конструктив фикерләрдән чыгып билгеләргә

$$d_{\text{бар}} = 18 \text{ мм}; d_{\text{эчк.}} = 12 \text{ мм}; l_{\text{бар}} = 62 \text{ мм}; l_{\text{ш}} = 28 \text{ мм.}$$

$$l_{\delta} = \frac{l_{бар} - (l_{ш} + 2)}{2} = \frac{62 - (28 + 2)}{2} = 16 \text{ мм.}$$

Шатунның өске головкасының втулкасына бармакчаның чагыштырма басымы

$$q_{ш} = \frac{P_{барм.}}{d_{бар} l_{ш}} = \frac{0,02378}{0,018 \cdot 0,028} = 47,18 \text{ МПа} < [60] - \text{рөхсәт ителә.}$$

Бобышкада чагыштырма басым

$$q_b = \frac{P_{барм.}}{d_{бар} (l_{бар} - b)} = \frac{0,02378}{0,018(0,062 - 0,03)} = 41,28 \text{ МПа} < [50]$$

– рөхсәт ителә.

Бармакчаның урта киселешендә бөгелеш көчәнеше

$$\sigma_{бөг} = \frac{P_{барм.} (l_{бар} + 2b - 1,5l_{ш})}{1,2 \left[1 - \left(\frac{d_{эчк.}}{d_{бар}} \right)^4 \right] \cdot d_{бар}^3} =$$

$$= \frac{0,02378 \cdot (0,062 + 2 \cdot 0,030 - 1,5 \cdot 0,028)}{1,2 \left[1 - \left(\frac{0,012}{0,018} \right)^4 \right] \cdot 0,018^3} = 339,4 \text{ МПа}$$

бу [250] дән зуррак. Яңадан билгеләргә:

$$d_{бар} = 20 \text{ мм}; \quad d_{эчк.} = 12 \text{ мм}; \quad l_{бар} = 62 \text{ мм}; \quad l_{ш} = 28 \text{ мм.}$$

$$\sigma_{бөг} = 227 \text{ МПа} < [250] \text{ кабул итәрлек.}$$

$$\alpha = \frac{d_{эчк.}}{d_{бар}} = \frac{12}{20} = 0,6$$

Чагыштырма басымнарны яңадан санауның кирәге юк, шуңа күрә $d_{бар} = 20 \text{ мм}$ булганда, аларның кыйммәте 10% кими.

Киселешнең орынмалы көчәнеше

$$\tau_{кис.} = \frac{0,85 P_{барм.} (1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4) d_{бар}^2} = \frac{0,85 \cdot 0,02378 (1 + 0,6 + 0,6^2)}{(1 - 0,6^4) 0,02^2} =$$

$$= 113,84 \text{ МПа} < [250] - \text{рөхсәт итәрлек.}$$

Бармакчаның овалылашуу

$$\begin{aligned}\Delta d_{бар} &= \frac{1,35 P_{барм.}}{El_{бар}} \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^3 \left[0,1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= \frac{1,35 \cdot 0,02378}{200000 \cdot 0,062} \left(\frac{1+0,6}{1-0,6} \right)^3 \left[0,1 - (0,6 - 0,4)^3 \right] = \\ &= 0,0152 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,0152 \text{ мм}\end{aligned}$$

Бу рөхсәт ителгәннән 0,05 гә ким.

Овалылашуунун көчәнеше:

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0} &= \frac{15 P_{бар}}{l_{бар} d_{бар}} \left[0,19 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{1}{1-\alpha} \right] \left[0,1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,02378}{0,062 \cdot 0,02} \left[0,19 \frac{(2+0,6)(1+0,6)}{(1-0,6)^2} - \frac{1}{1-0,6} \right] \left[0,1 - (0,6 - 0,4)^3 \right] = \\ &= 64,6 \text{ МПа}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= -\frac{15 P_{бар}}{l_{бар} d_{бар}} \left[0,174 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \cdot \left[0,1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,02378}{0,062 \cdot 0,02} \left[0,174 \frac{(2+0,6)(1+0,6)}{(1-0,6)^2} - \frac{0,636}{1-0,6} \right] \left[0,1 - (0,6 - 0,4)^3 \right] = \\ &= -161,8 \text{ МПа}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{i0} &= -\frac{15 P_{бар}}{l_{бар} d_{бар}} \left[0,19 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{1}{1-\alpha} \right] \cdot \left[0,1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,02378}{0,062 \cdot 0,02} \left[0,19 \frac{(1+2 \cdot 0,6)(1+0,6)}{(1-0,6)^2 \cdot 0,6} - \frac{1}{1-0,6} \right] \left[0,1 - (0,6 - 0,4)^3 \right] = \\ &= -250,6 \text{ МПа}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{i90} &= \frac{15P_{бар}}{l_{бар}d_{бар}} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2\alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,02378}{0,062 \cdot 0,02} \left[0,174 \frac{(1+2 \cdot 0,6)(1+0,6)}{(1-0,6)^2 \cdot 0,6} - \frac{0,636}{1-0,6} \right] [0,1 - (0,6 - 0,4)^3] = \\ &= 126,77 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Горизонталь яссылыкта бармакчаның эчке өлешендәге иң зур көчәнеш рөхсәт ителгән кыйммәттән - $[\sigma] = 300 \text{ МПа}$ тан артып китми. Бу кабул ителерлек.

Бармакчаның соңгы нәтижәдә билгеләнгән үлчәмнәре:

$d_{бар} = 20 \text{ мм}$; $d_{эчк.} = 12 \text{ мм}$; $l_{бар} = 62 \text{ мм}$; $l_{ш} = 28 \text{ мм}$, материал – корыч 15Х, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Өслекне 1 мм тирәнлеккә кадәр цементлаштырырга, чыныктырырга һәм кайтарырга кирәк – бу исә кирәкле ныклыкны тәмин итә.

Шатунның өске головкасын исәпләү

45Г2 корычтан штамповкаланган, өслеге эшкәртелгән, вак ядрә белән өрдерелгән.

Өске головкасының эчке диаметры $d = 1,15 d_{бар} = 23 \text{ мм}$;

тышкы диаметры $d_2 = 1,4 \cdot d_{бар} = 1,4 \cdot 20 = 28 \text{ мм}$;

радиаль калынлыгы $h_2 = 2,5 \text{ мм}$;

шатунның өске головкасы озынлыгы $l_{ш} = 28 \text{ мм}$.

I-I киселешендә аруга чыдамлылыкны исәпләү.

Башлангыч мәгълүматлар:

$$m_{к-а} = m_{нешк.} + m_{шат.к-а} = 0,346 + 0,12 = 0,47 \text{ кг};$$

$$\omega_{max} = 1,25 \omega_{ном.} = 1,25 \frac{2\pi n_{ном.}}{60} = 1,25 \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5200}{60} = 680 \frac{\text{рад.}}{\text{с}};$$

$$\begin{aligned}P_{jmax} &= -m_{к-а} R \omega_{max}^2 (1+\lambda) = -0,47 \cdot 0,033 \cdot 680^2 (1+0,28) \cdot 10^{-6} = \\ &= -0,0097 \text{ МН};\end{aligned}$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{jmax}}{2 \cdot h_2 \cdot l_{ш}} = \frac{0,0097}{2 \cdot 0,0025 \cdot 0,028} = 69,28 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\min} = 0.$$

45 Г2 корыч өчен: $E = 2,2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_{\sigma} = 800$ МПа, $\sigma_{-1} = 350$ МПа, $\sigma_{-1p} = 210$ МПа, $\sigma_T = 420$ МПа (32 нче табл), бөгелеш вакытында $\alpha_{\sigma} = 0,17$ һәм сузылу-кысылу вакытында $\alpha_{\sigma} = 0,12$.

Бөгелеш вакытында

$$\beta_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_T} = \frac{350}{420} = 0,833; \quad \frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}} = \frac{0,833 - 0,17}{1 - 0,833} = 3,97;$$

Сузылу вакытында:

$$\beta_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_T} = \frac{210}{420} = 0,5; \quad \frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}} = \frac{0,5 - 0,12}{1 - 0,5} = 0,76;$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{69,28 + 0}{2} = 34,64 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{69,28 - 0}{2} = 34,64 \text{ МПа};$$

$$K_{\sigma} = 1,2 + 1,8 \cdot 10^{-4} (\sigma_{\sigma} - 400) = 1,2 + 1,8 \cdot 10^{-4} (800 - 400) = 1,272.$$

$\varepsilon_{m\sigma} = 0,87$ (34 нче таблица); $\varepsilon_n = 0,9$ (35 нче таблица – чисталама үткерләү).

$$\sigma_{ak} = \frac{\sigma_a - K_{\sigma}}{\varepsilon_{m\sigma} \varepsilon_n} = \frac{34,64 \cdot 1,272}{0,87 \cdot 0,9} = 56,27 \text{ МПа}.$$

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} = \frac{56,27}{34,64} = 1,62;$$

сузылу-кысылу вакытында $\frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}} = 0,76$.

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} > \frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}},$$

шунлыктан чыдамлылык запасын ару чиге буенча билгеләргә.

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_{ak} + \alpha_{\sigma} \sigma_m} = \frac{210}{56,27 + 0,12 \cdot 34,64} = 3,47.$$

Шатунның өске головкасының томалау киселешендә чыдамлылыкка исәпләү

$$\varphi_{ш.т.} = 120^\circ; \quad r_{yp.} = \frac{d_z + d}{4} = \frac{28 + 23}{4} = 12,75 \text{ мм};$$

$$\omega = \frac{2\pi n_{ном.}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5200}{60} = 544 \frac{\text{рад.}}{\text{с}};$$

$$P_j = -m_{нешк.} R \omega^2 (1 + \lambda) = -0,346 \cdot 0,033 \cdot 544^2 (1 + 0,28) \cdot 10^{-6} = -0,0043 \text{ МН} = -4300 \text{ Н};$$

0-0 киселешендә нормаль көч һәм бөгүче момент (59 нче рәсемне кара):

$$N_{jo} = -P_j (0,572 - 0,0008 \varphi_{ш.т.}) = -(-0,0043) (0,572 - 0,0008 \cdot 120) = 0,002047 \text{ МН} = 2047 \text{ Н};$$

$$M_{jo} = -P_j \cdot r_{yp.} (0,00033 \varphi_{ш.т.} - 0,0297) = -(-0,0043) 0,01275 (0,00033 \cdot 120^\circ - 0,0297) = 5 \cdot 10^{-7} \text{ МН} \cdot \text{м} = 0,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

А-А киселешендә нормаль көч һәм бөгүче момент сузучы көчтән (59 нче рәсемне кара):

$$N_{j\varphi_{ш.т.}} = N_{jo} \cos \varphi_{ш.т.} - 0,5 P_j (\sin \varphi_{ш.т.} - \cos \varphi_{ш.т.}) =$$

$$= 2047 \cdot \cos 120^\circ - 0,5 (-4300) (\sin 120^\circ - \cos 120^\circ) = 1913,4 \text{ Н};$$

$$M_{j\varphi_{ш.т.}} = M_{jo} + N_{jo} \cdot r_{yp.} (1 - \cos \varphi_{ш.т.}) + 0,5 \cdot P_j \cdot r_{yp.} (\sin \varphi_{ш.т.} - \cos \varphi_{ш.т.}) = 0,5 + 2047 \cdot 0,01275 (1 - \cos 120^\circ) + 0,5 \cdot (-4300) \cdot 0,01275 (\sin 120^\circ - \cos 120^\circ) = 2,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Көчәнешләр

-тышкы жипселләрдә:

$$\sigma_{aj} = \left[2 \cdot M_{j\varphi_{ш.т.}} \frac{6 \cdot r_{yp.} + h_z}{h_z (2 \cdot r_{yp.} + h_z)} + N_{j\varphi_{ш.т.}} \right] \cdot \frac{10^{-6}}{l_{ш} h_z} =$$

$$= \left[2 \cdot 2,2 \frac{6 \cdot 0,01275 + 0,0025}{0,0025 (2 \cdot 0,01275 + 0,0025)} + 1913,4 \right] \cdot \frac{10^{-6}}{0,028 \cdot 0,0025} =$$

$$= 98,27 \text{ МПа}$$

-эчке жипселләрдә:

$$\sigma_{ij} = \left[-2M_{j\varphi_{ш.Т.}} \frac{6r_{yp.} + h_z}{h_z(2r_{yp.} + h_z)} + N_{j\varphi_{ш.Т.}} \right] \frac{10^{-6}}{l_{ш.} h_z} =$$

$$= \left[-2 \cdot 2,2 \frac{6 \cdot 0,01275 + 0,0025}{0,0025(2 \cdot 0,01275 + 0,0025)} + 1913,4 \right] \frac{10^{-6}}{0,028 \cdot 0,0025} =$$

$$= -43,6 \text{ МПа}$$

$M_{e \text{ max}}$ режимда шатун головкасының қысучы көч

$$p_{z_M} = 1,13 p_{z_N} = 1,13 \cdot 5,36 = 6,05 \text{ МПа};$$

$$P_{кыс.} = (p_{z_M} - p_o) F_{нешк} - m_{нешк} R \omega_{Me}^2 (1 + \lambda) =$$

$$= (6,05 - 0,1) \cdot 0,00407 - 0,346 \cdot 0,033 \cdot 261,66^2 (1 + 0,28) 10^{-6} =$$

$$= 0,0232 \text{ МН} = 23200 \text{ Н}$$

А-А киселешендә нормаль көч һәм бөгүче момент қысучы көчтән (59 нче рәсемне кара):

$$N_{кыс.\varphi_{ш.Т.}} = P_{кыс.} \left[\frac{N_{кыс.0}}{P_{кыс.}} + \left(\frac{\sin \varphi_{ш.Т.}}{2} - \frac{\varphi_{ш.Т.}}{\pi} \sin \varphi_{ш.Т.} - \frac{1}{\pi} \cos \varphi_{ш.Т.} \right) \right] =$$

$$= 23200 \left[0,003 + \left(\frac{\sin 120^\circ}{2} - \frac{120^\circ}{3,14} \sin 120^\circ - \frac{1}{3,14} \cos 120^\circ \right) \right] = 371,2 \text{ Н}$$

$$M_{кыс.\varphi_{ш.Т.}} = P_{кыс.} r_{ур.} \left[\frac{M_{кыс.0}}{P_{кыс.} r_{ур.}} + \frac{N_{кыс.0}}{P_{кыс.}} (1 - \cos \varphi_{ш.Т.}) - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{\sin \varphi_{ш.Т.}}{2} - \frac{\varphi_{ш.Т.}}{\pi} \sin \varphi_{ш.Т.} - \frac{1}{\pi} \cos \varphi_{ш.Т.} \right) \right] =$$

$$= 23200 \cdot 0,001275 [0,0011 + 0,003(1 - \cos 120^\circ) -$$

$$- \left(\frac{\sin 120^\circ}{2} - \frac{120^\circ}{3,14} \sin 120^\circ - \frac{1}{3,14} \cos 120^\circ \right)] = -2,19 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

монда $N_{кыс.0} / P_{кыс.} = 0,003$ һәм $M_{кыс.0} / P_{кыс.} r_{ур.} = 0,0011$ 39 нче таблицадан алабыз.

$$\sigma_{a \text{ кыс.}} = \left[2M_{\text{кыс.}} \frac{6r_{\text{ур.}} + h_2}{h_2(2r_{\text{ур.}} + h_2)} + N_{\text{кыс.}} \right] \frac{10^{-6}}{l_{\text{ш.}} h_2} =$$

$$= \left[2 \cdot (-2,19) \frac{6 \cdot 0,001275 + 0,0025}{0,0025(2 \cdot 0,001275 + 0,0025)} + 371,2 \right] \frac{10^{-6}}{0,028 \cdot 0,0025} =$$

$$= -65,3 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_{aj} + \sigma_{\text{запр.}}; \quad \sigma_{\text{запр.}} = 0;$$

$$\sigma_{\text{max}} = 98,27 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{min}} = \sigma_{a \text{ кыс.}} + \sigma_{\text{запр.}} = -65,3 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{98,27 - 65,3}{2} = 16,49 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{98,27 + 65,3}{2} = 81,79 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{ak} = \frac{\sigma_a K_\sigma}{\varepsilon_{\text{м}\sigma} \varepsilon_n} = \frac{81,79 \cdot 1,272}{0,87 \cdot 0,9} = 132,86 \text{ МПа;}$$

$$\text{монда } K_\sigma = 1,2 + 1,8 \cdot 10^{-4} (\sigma_s - 400) = 1,272; \quad \varepsilon_{\text{м}\sigma} = 0,87; \quad \varepsilon_n = 0,9;$$

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} = \frac{132,86}{16,49} = 8,06 > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} = \frac{0,5 - 0,12}{1 - 0,5} = 0,76$$

$8,06 > 0,76$, шунлыктан ару чиге буенча исәплибиз

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_{ak} + \alpha_\sigma \sigma_m} = \frac{210}{132,86 + 0,12 \cdot 16,49} = 1,56$$

Чыдамлылык запасы 1,25 күбрәк, бу рәхсәт ителә.

Шатунның кривошип головкасын исәпләү

Башлангыч мәгълүматлар:

- кривошипның радиусы $R = 0,033 \text{ м}$;
- шатунның массасы $m_{\text{ш}} = 0,44 \text{ кг}$;
- пешкәк төркеменен массасы $m_{\text{пешк.}} = 0,346 \text{ кг}$;
- кайтма-алга баручы шатунның массасы
 $m_{\text{шат.к-а}} = 0,25 m_{\text{ш}} = 0,11 \text{ кг}$;
- әйләнү хәрәкәте генә ясаучы шатунның массасы

$$m_{\text{шат.эйл}} = 0,44 - 0,11 = 0,33 \text{ кг};$$

- шатун капкачының массасы

$$m_{\text{кап.}} = 0,25m_{\text{ш.}} = 0,25 \cdot 0,44 = 0,11 \text{ кг};$$

- эйләнү ешлыгы $\omega_{\text{max}} = 680 \text{ рад./с};$

- шатун муентыгының диаметры

$$d_{\text{ш.ш.}} = 0,65D = 0,65 \cdot 72 = 46,8 \text{ мм} \sim 48 \text{ мм};$$

- юка вкладышның стенка калыңлыгы $t_{\text{в}} = 2 \text{ мм};$

- шатун болтлары арасындагы ераклык $C_{\text{б}} = 62 \text{ мм};$

- кривошип башының озынлыгы $l_{\text{к}} = 26 \text{ мм}.$

$$\begin{aligned} P_{j \text{ сюз}} &= -[(m_{\text{пешк}} + m_{\text{шат.к-а.}})(1 + \lambda) + (m_{\text{шат.эйл.}} - m_{\text{кап.}})] \cdot R\omega^2 \cdot 10^{-6} = \\ &= [(0,346 + 0,11)(1 + 0,28) + (0,33 - 0,11)] 0,033 \cdot 680^2 \cdot 10^{-6} = \\ &= -0,0123 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Каршылык моменты

$$W_{\text{бөз.}} = l_{\text{к}}(0,5C_{\text{б}} - r_1)^2 / 6 = 0,026(0,5 \cdot 0,062 - 0,026)^2 / 6 = 0,108 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

монда

$$r_1 = 0,5(d_{\text{ш.ш.}} + 2t_{\text{в}}) = \frac{48 + 4}{2} = 26 \text{ мм}.$$

Вкладыш һәм капкачның инерция моменты

$$J_{\text{вкл.}} = l_{\text{к}} t_{\text{в}}^3 = 0,026 \cdot 0,002^3 = 26 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9} = 208 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4;$$

$$J_{\text{кап.}} = l_{\text{к}}(0,5C_{\text{б}} - r_1)^3 = 0,026(0,031 - 0,026)^3 =$$

$$= 26 \cdot 125 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9} = 3250 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4;$$

$$F_{\text{к}} = 0,5l_{\text{к}}(C_{\text{б}} - d_{\text{ш.ш.}}) = 0,5 \cdot 0,026(0,062 - 0,048) = 0,000182 \text{ м}^2.$$

$$\sigma_{\text{бөз.}} = P_{j \text{ сюз}} \left[\frac{0,023C_{\text{б}}}{\left(1 + \frac{J_{\text{вкл.}}}{J_{\text{кап.}}}\right) W_{\text{бөз.}}} + \frac{0,4}{F_{\text{к}}} \right] =$$

$$= 0,0123 \cdot \left[\frac{0,023 \cdot 0,062}{\left(1 + \frac{208 \cdot 10^{-12}}{3250 \cdot 10^{-12}}\right) 0,108 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,4}{1,82 \cdot 10^{-4}} \right] = 179,37 \text{ МПа}$$

Бөгелеш көчәнешенен рөхсәт ителгән кыйммәте 300 МПа кадәр. Кривошип башының һәм капкачны сайлап алынган үлчәмнәре кирәкле чыдамлыкны тәмин итәләр.

Шатун кендеген исәпләү

Башлангыч мәгълүматлар:

- исәпләү киселешендә шатунның киңлеген $h_{ш}=20 \text{ мм}$;
- шатунның озынлыгы $L_{ш} = \frac{R}{\lambda} = \frac{33}{0,28} = 118 \text{ мм}$;
- шатунның двутавр киштәсенен киңлеген $b_{ш}=15 \text{ мм}$;
- шатунның двутавр стенкасының калыңлыгы $a_{ш}=3 \text{ мм}$;
- шатунның двутавр киштәсенен калыңлыгы $t_{ш}=3,5 \text{ мм}$;
- шатун кендегенен озынлыгы

$$L_I = \frac{R}{\lambda} - \left(\frac{d + d_1}{2} \right) = \frac{0,033}{0,28} - \left(\frac{23 + 52}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ м};$$

- исәпләү киселешенен мәйданы

$$F_{ур.} = h_{ш} \cdot b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш}) = 20 \cdot 15 - (15 - 3)(20 - 7) = 144 \text{ мм}^2 = 144 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Инерция моменты

$$J_x = \frac{1}{12} [b_{ш} h_{ш}^3 - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш})^3] =$$

$$= \frac{1}{12} [15 \cdot 8000^3 - (15 - 3)(20 - 2 \cdot 3,5)^3] = 78,08 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4;$$

$$J_y = \frac{1}{12} [h_{ш} b_{ш}^3 - (h_{ш} - 2t_{ш})(b_{ш} - a_{ш})^3] =$$

$$= \frac{1}{12} [20 \cdot 3375^3 - (20 - 2 \cdot 3,5)(15 - 3)^3] = 37,53 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4.$$

Шатун кысылуының иң зур көче — максималь бөтерүче момент режимында, ягъни $p_{газ \max} = 1,13 p_{z_N}$ һәм $\omega = \omega_{Me} = 262$ 1/с вакытында. Инерция көчләрен исәпләгәндә кайтма-алга баручы шатунның массасын исәпләү кирәк.

$$P_{газ} = p_{газ\ max} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 1,13 \cdot 5,36 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,072^2}{4} = 0,02465 \text{ МН.}$$

Инерция көчлөре

$$P_j = -(m_{неук} + m_{шат.к-а.}) R \omega_{Me}^2 (1 + \lambda) =$$

$$= -(0,346 + 0,11) \cdot 0,033 \cdot 262^2 \cdot (1 - 0,28) = -0,001322 \text{ МН.}$$

Суммар кысучы көч

$$P_{кыс.} = P_{газ} + P_j = 0,02465 - 0,001322 = 0,0233 \text{ МН.}$$

Максималь сузучы көч – кертү тактында максималь эйлөнөш-лөр режимында инерция көчө

$$P_{j\ max} = -(m_{неук} + m_{шат.к-а.}) R \omega_{max}^2 (1 + \lambda) =$$

$$= -(0,346 + 0,11) \cdot 0,033 \cdot 680^2 \cdot (1 + 0,28) = -8906 \text{ Н} = -0,008906 \text{ МН,}$$

$$\text{монда } \omega_{max} = \frac{2\pi n_{max}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6500}{60} = 680 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

45Г2 корыч өчен: $\sigma_s = 800 \text{ МПа}$; $E = 22 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

$$K_x = 1 + \frac{\sigma_s}{\pi^2 E} \cdot \frac{L_{ш}^2}{J_x} \cdot F_{ур.} =$$

$$= 1 + \frac{800}{9,86 \cdot 2,2 \cdot 10^5} \cdot \frac{0,118^2}{78,08 \cdot 10^{-10}} \cdot 144 \cdot 10^{-6} = 1,0948;$$

$$\sigma_{max x} = K_x \frac{P_{кыс.}}{F_{ур.}} = 1,0948 \cdot \frac{0,0233 \text{ МН}}{144 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 176,4 \text{ МПа};$$

$$K_y = 1 + \frac{\sigma_s}{\pi^2 E} \cdot \frac{L_1^2}{4J_y} =$$

$$= 1 + \frac{800}{9,86 \cdot 2,2 \cdot 10^5} \cdot \frac{0,08^2}{4 \cdot 37,53 \cdot 10^{-10}} \cdot 144 \cdot 10^{-6} = 1,0226;$$

$$\sigma_{max y} = K_y \frac{P_{кыс.}}{F_{ур.}} = 1,0226 \cdot \frac{0,0233}{144 \cdot 10^{-6}} = 164,8 \text{ МПа.}$$

Ике нәтижә дә рөхсәт ителгән кыйммәттән $\sim 200 \text{ МПа}$ ким.

Сузучы көчнөң максималь кыйммәте $P_{j\ max} = -0,008906 \text{ МН}$.

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{j \max}}{F_{yp}} = \frac{-0,008906}{144 \cdot 10^{-6}} = -61,85 \text{ МПа.}$$

Чик $[\sigma_{I \text{ сюз}}] = 210 \text{ МПа}$, бу тулысынча канәгатыләнәрлек.
Уртача көчәнеш һәм циклының амплитудасы

$$\sigma_{mx} = \frac{\sigma_{\max x} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{176,4 - 61,85}{2} = 57,28 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{ax} = \frac{\sigma_{\max x} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{176,4 + 61,85}{2} = 119,13 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{my} = \frac{\sigma_{\max y} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{164,8 - 61,85}{2} = 51,48 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{ay} = \frac{\sigma_{\max y} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{164,8 + 61,85}{2} = 113,33 \text{ МПа.}$$

Каралган детальдә кискеч аралыклар юк, шуңа күрә өслекнең эшкәртелүе сыйфатлы. K_σ исәпләү өчен түбәндәге формуланы кулланырга кирәк:

$$K_\sigma = 1,2 + 1,8 (\sigma_s - 400) \cdot 10^{-4} = 1,2 + 1,8 (800 - 400) \cdot 10^{-4} = 1,272;$$

$$\varepsilon_{m\sigma} = 0,9 \text{ (} h_m = 20 \text{ мм булганда);}$$

$$\varepsilon_n = 1,3 \text{ – вак ядрә белән эшкәртү.}$$

$$\sigma_{akx} = \frac{\sigma_{ax} K_\sigma}{\varepsilon_{m\sigma} \varepsilon_n} = \frac{119,13 \cdot 1,272}{0,9 \cdot 1,3} = 129,52 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{aky} = \frac{\sigma_{ay} K_\sigma}{\varepsilon_{m\sigma} \varepsilon_n} = \frac{113,33 \cdot 1,272}{0,9 \cdot 1,3} = 123,21 \text{ МПа;}$$

$$\frac{\sigma_{akx}}{\sigma_{mx}} = \frac{129,52}{57,28} = 2,26 > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} = 0,76 \text{ – 45Г2 корыч өчен}$$

сузылу -кысылу вакытында;

$$\frac{\sigma_{aky}}{\sigma_{my}} = \frac{123,21}{51,48} = 2,39 > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} = 0,76 \text{ га караганда шулай ук}$$

күп.

Исәпләүне ару чиге буенча үткәергә

$$n_{\sigma x} = \frac{\sigma_{-1 \text{ сюз}}}{\sigma_{akx} + \alpha_{\sigma} \sigma_{mx}} = \frac{210}{129,52 + 0,12 \cdot 57,28} = 1,54;$$

$$n_{\sigma y} = \frac{\sigma_{-1 \text{ сюз}}}{\sigma_{aky} + \alpha_{\sigma} \sigma_{my}} = \frac{210}{123,21 + 0,12 \cdot 51,48} = 1,62.$$

Чыдамлылык запасының аскы кыйммәте $n > 1,5$.

Шатунның геометрик үлчәмнәре һәм конструкцион материал кирәкле чыдамлылыкны тәмин итә.

Шатун болтларын исәпләү

Башлангыч мәгълүматлар:

- пешкәкнең массасы $m_{пешк} = 0,346 \text{ кг}$;
- кайтма-алга баручы шатунның массасы: $m_{шат.к-а} = 0,11 \text{ кг}$;
- n_{max} булганда шатунның өске головкасын яручы инерция көченең максималь кыйммәте

$$P_{j \text{ сюз}} = -(m_{пешк} + m_{шат.к-а}) R \omega_{max}^2 (1 + \lambda) = \\ = -(0,346 + 0,11) \cdot 0,033 \cdot 680^2 \cdot (1 + 0,28) = -0,008906 \text{ МН};$$

- болтның диаметры $d = 10 \text{ мм}$;
- резъбаның адымы $t = 0,8 \text{ мм}$;
- болтлар саны – 2;
- материал корыч 45Х түбәндәге үзенчәлекләре белән:

$$\sigma_{\sigma} = 950 \text{ МПа}; \quad \sigma_T = 820 \text{ МПа}; \quad \sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}; \quad \alpha_{\sigma} = 0,2;$$

$$\beta_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_T} = \frac{270}{820} = 0,33;$$

$$\frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}} = \frac{0,33 - 0,2}{1 - 0,33} = 0,194.$$

Алдан тарттыру көче

$$P_{тарт} = \frac{3 P_{j \text{ сюз}}}{i_{болт}} = \frac{3 \cdot 0,008906}{2} = 0,0134 \text{ МН}.$$

Болтны сузучы суммар көч

$$P_{\text{болт}} = P_{\text{тарт.}} + 0,2 \frac{P_{j \text{ сюз}}}{2} = 0,0134 + 0,2 \frac{0,008906}{2} = 0,0143 \text{ МН.}$$

Резьбаның $d_{\text{эчк.}} = d - 1,4t = 10 - 1,4 \cdot 0,8 = 8,88 \text{ мм};$

$$F_{\text{болт}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{эчке}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8,88^2}{4} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 61,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Болт жисемендө көчөнөшнөң максималъ һәм минималъ кыйм-мәте

$$\sigma_{\text{мах}} = \frac{P_{\text{болт}}}{F_{\text{болт}}} = \frac{0,0143 \text{ МН}}{61,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 231 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{P_{\text{тарт.}}}{F_{\text{болт}}} = \frac{0,0134 \text{ МН}}{61,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 216,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{мах}} + \sigma_{\text{мин}}}{2} = \frac{231 + 216,5}{2} = 223,75 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{мах}} - \sigma_{\text{мин}}}{2} = \frac{231 - 216,5}{2} = 7,25 \text{ МПа.}$$

Болт көчөнөшнөң ачык чагылган концентраторларына ия булганлыктан, K_{σ} ны түбәндәге формула буенча исәплиләр

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{K\sigma} - 1).$$

Резьба өчен $\alpha_{K\sigma} = 4$; $q = 0,785$ ($\sigma_s = 950 \text{ МПа}$ һәм $\alpha_{K\sigma} = 4$ өчен);

$$K_{\sigma} = 1 + 0,785 \cdot (4 - 1) = 3,36.$$

$\varepsilon_{\text{м}\sigma} = 1$ ($d = 10 \text{ мм}$ өчен); $\varepsilon_n = 0,9$ (чиста үткерләү);

$$\sigma_{ak} = \frac{\sigma_a K_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}\sigma} \varepsilon_n} = \frac{7,25 \cdot 3,36}{1 \cdot 0,9} = 27,07 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} = \frac{27,07}{223,75} = 0,121 < \frac{\beta_{\sigma} - \alpha_{\sigma}}{1 - \beta_{\sigma}} = 0,194,$$

шуңа күрә исәпләүне агучанлык чиге буенча үткәрәләр

$$n_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ak} + \sigma_m} = \frac{820}{27,07 + 223,75} = 3,27.$$

Чыдамлылык запасы тулысынча житәрлек.

Көч шпилькаларын исәпләү

Башлангыч мәгълүматлар:

- головкада шпилькалар саны $i_{ш.}=4$;
- шпилькаларның диаметры $d=11 \text{ мм}$;
- резьбаның адымы $t=1$;
- шпилькаларның эчке диаметры $d_{эчке}=d-2\cdot h=11-2\cdot 0,7=9,6 \text{ мм}$;
- материал-корыч 40ХН: $\sigma_b=1200 \text{ МПа}$, $\sigma_T=1000 \text{ МПа}$,
 $\sigma_{-1cyз}=370 \text{ МПа}$, $\alpha_\sigma=0,16$.

Яну камерасының өслек мәйданы

$$F_k = 1,2 \frac{\pi D^2}{4} = 1,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,072^2}{4} = 0,0049 \text{ м}^2.$$

Газлар басымы көче

$$P_{z \max} = 1,13 p_{z_N} \cdot F_k = 1,13 \cdot 5,36 \cdot 0,0049 = 0,03 \text{ МН}.$$

Шпильканы сузучы көч

$$P_z^I = \frac{P_{z \max}}{i_{ш}} = \frac{0,03}{4} = 0,0075 \text{ МН}.$$

Шпильканы алдан тарттыру ($\chi=0,2$ булганда)

$$P_{тарт.} = 3(1-\chi)P_z^I = 2,4P_z^I = 0,018 \text{ МН}.$$

Шпильканың киселеш мәйданы

$$F_{ш} = \frac{\pi \cdot d_{эчке}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9,6^2}{4} 10^{-6} = 72,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P_z^I + P_{тарт.}}{F_{ш}} = \frac{0,0075 + 0,018}{72,34 \cdot 10^{-6}} = 352,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{тарт.}}{F_{ш}} = \frac{0,018}{72,34 \cdot 10^{-6}} = 248,8 \text{ МПа}.$$

Шпилька жисемендәге көчәнешнең уртача кыйммәте

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 300,7 \text{ МПа}.$$

Көчәнеш амплитудасы

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{352,5 - 248,8}{2} = 51,85 \text{ МПа};$$

$$K_\sigma = 1 + q(\alpha_{K_\sigma} - 1) = 1 + 0,74(4 - 1) = 3,22;$$

$$\varepsilon_{m\sigma} = 0,99 \text{ (} d = 11 \text{ мм өчен); } \varepsilon_n = 0,9 \text{ (чиста үткенләү);}$$

$$\sigma_{ak} = \frac{\sigma_a K_\sigma}{\varepsilon_m \varepsilon_n} = \frac{51,85 \cdot 3,22}{0,99 \cdot 0,9} = 187,38 \text{ МПа};$$

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_{-1\text{cyз.}}}{\sigma_T} = \frac{370}{1000} = 0,37;$$

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} = \frac{187,38}{300,7} = 0,62 > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma} = \frac{0,37 - 0,16}{1 - 0,37} = 0,33;$$

$$\frac{\sigma_{ak}}{\sigma_m} > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1 - \beta_\sigma}, \text{ шуңа күрә исәпләүне ару чиге буенча үткә-}$$

рергә

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1\text{cyз.}}}{\sigma_{ak} + \alpha_\sigma \sigma_m} = \frac{370}{187,38 + 0,16 \cdot 300,7} = 1,57.$$

Чыдамлылык запасының аскы кыйммәте $n > 1,5$.

Шпильканың материалы һәм үлчәмнәре чыдамлылык таләпләрен канәгатьләндерә.

Клапан пружинасын исәпләү

Башлангыч мәгълүматлар:

- пешкәкнең мәйданы $F_n = 0,00407 \text{ м}^2$;
- цилиндрда бер исемдәге клапаннарның саны $i = 1$;
- яну камерасы чөйсыман, клапаннары асып куела торган, клапан йөрткече бүлү валы башында урнашканнан турыдан-туры бәйле.

Кертү клапаны муентыгының диаметры

$$d_{авыз.} = 0,44D = 0,44 \cdot 72 \text{ мм} = 31,68 \text{ мм};$$

$$d_{авыз.} = 32 \text{ мм дип кабул итәргә.}$$

Муентык мәйданы

$$F_{авыз} = \frac{\pi d_{авыз}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,2^2}{4} = 8,0384 \text{ см}^2 = 0,0008 \text{ м}^2.$$

Клапанный майданы

$$F_{кл.} = C_n F_n / i_{кл.} W_{кл.} = 11,44 \cdot 0,00407 / 80 = 0,0006 \text{ м}^2.$$

Муентык майданының берәмлегенә туры килүче, клапан күчәренә китерелгән масса

$$M' = 200 \pm 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2},$$

$M' = 220 \text{ кг/м}^2$ дип билгеләргә.

Аның күчәренә китерелгән клапанның массасы

$$M = 220 \cdot 0,0008 = 0,176 \text{ кг.}$$

Клапанны күтәрү биеклеге (45° лы фаска өчен)

$$h_{кл.} = \frac{\sqrt{4,93 d_{авыз}^2 + 4,44 F_{кл.}}}{2,2} - d_{авыз} =$$

$$= \frac{\sqrt{4,93 \cdot 0,032^2 + 4,44 \cdot 0,0006}}{2,2} - 0,032 = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм};$$

$$\frac{h_{кл.}}{d_{авыз}} = \frac{8}{32} = 0,25, \text{ бу статистикага туры килә.}$$

Статистика буенча $\frac{h_{кл.}}{d_{авыз}} = (0,18 \dots 0,30)$.

"a" коэффициентын $a = 12 \text{ мм}$ дип кабул итәргә.

Бүлү валының әйләнү ешлыгы $\omega_{б.в.} = \frac{\omega_{Тв}}{2} = \frac{544}{2} = 272 \text{ 1/с.}$

K кыйммәтен $K = 1,4$ дип кабул итәргә (статистика буенча $K = 1,33 \dots 1,66$).

Пружинаның материалы:

пружина корычы $\sigma_s = 1500 \text{ МПа}$, $\sigma_{-1} = 350 \text{ МПа}$.

Турыдан-туры йөрткөч булганда пружина сыгымалылыгының максималь көче:

$$P_{пр. max} = K M_{кл.} a \omega_{б.в.}^2 = 1,4 \cdot 0,176 \cdot 0,012 \cdot 272^2 = 219 \text{ Н.}$$

Газ алмашуның бирелгән исәпләвен искә алып, пружина сыгымалылыгының кирәкле минималь көче

$$p_a = 0,0886 \text{ МПа}, \quad p_r = 0,12 \text{ МПа},$$

$$p_r - p_a = 0,0314 \text{ МПа} = 31400 \text{ Н/м}^2;$$

$$P_{пр.мин} = 1,2 F_{авыз.} (p_r - p_a) = 1,2 \cdot 0,0008 \cdot 31400 = 30 \text{ Н.}$$

Йодрыкчаның баштагы диаметры вакытында

$$d_o = 30 \text{ мм}, \quad r_o = 15 \text{ мм},$$

$$P_{пр.мин} = K M_{кл.} (r_o - h_{кл.}) \omega_{б.в.}^2 = 1,4 \cdot 0,176 (0,015 - 0,008) 272^2 = 129 \text{ Н.}$$

Бу кертү клапанын ныклы утыруын тәэмин итә.

Пружинаның катылыгы

$$C = K M_{кл.} \omega_{б.в.}^2 = 1,4 \cdot 0,176 \cdot 272^2 = 18230 \text{ Н/м} = 18,23 \text{ КН/м.}$$

Пружинаның алдан деформацияләнүе

$$f_{мин} = r_o - h_{кл.} = 0,007 \text{ м.}$$

Максималь деформация

$$f_{max} = f_{мин} + h_{кл.} = 0,015 \text{ м.}$$

Конструктив фикерләүләрдән чыгып билгеләргә:

- тимерчыбыкның диаметры $\delta_{пр.} = 4 \text{ мм};$
- пружинаның диаметры $D_{пр.} = 0,8 d_{авыз.} = 0,8 \cdot 32 = 25,6 \text{ мм};$
- пружинаның уртача диаметры $D_{пр.} = 26 \text{ мм.}$

Эшче чорнамнарның саны

$$i_{эшче.} = \frac{\sigma \delta_{пр.}^4 f_{max}}{8 P_{пр. max} D^3},$$

биредә параметрларның кыйммәте

$$P_{пр. max} = 219 \cdot 10^{-6} \text{ МН}; \quad \sigma = 8,2 \frac{\text{МН}}{\text{см}^2}; \quad \delta_{пр.} = 0,4 \text{ см}; \quad D_{пр.} = 2,6 \text{ см};$$

$$f_{max} = 1,5 \text{ см.}$$

$$i_{эшче.} = \frac{8,2 \cdot 0,4^4 \cdot 1,5}{8 \cdot 0,000219 \cdot 2,6^3} = 10,22 \sim 10 \text{ чорнам.}$$

Чорнам саны зур, $i = 4 \dots 8$ дип алырга кирәк. Тимерчыбык диаметрын киметергә кирәк: $\delta_{пр.} = 3,6 \text{ мм} = 0,36 \text{ см.}$

$$i_{эшче.} = \frac{8,2 \cdot 0,36^4 \cdot 1,5}{8 \cdot 0,000219 \cdot 2,6^3} = 6,51 \sim 7 \text{ чорнам.}$$

Чорнамнарның тулы саны: $i_{тулы}=7+2=9$.

Чорнам арасындагы минималь аралык $\Delta_{min}=0,3$ мм.

Пружинаның минималь озынлыгы (клапан ачык булганда)

$$L_{min}=i_{тулы} \cdot \delta_{пр} + i_{эшче} \Delta_{min}=9 \cdot 3,6+7 \cdot 0,3=34,5 \text{ мм.}$$

Ябылган клапан вакытында пружинаның озынлыгы

$$L_o=L_{min}+h_{кл.}=34,5+8=42,5 \text{ мм.}$$

Ирекле пружинаның озынлыгы

$$L_{ирек.}=L_{min}+f_{max}=34,5+15=49,5 \text{ мм;}$$

$$D_{пр.}/\delta_{пр}=26/3,6=7,22, \text{ бу вакытта } k'=1,2.$$

Пружинада иң зур көчәнеш

$$\tau_{max}=k' \frac{8 \cdot P_{пр. max} D_{пр.}}{\pi \delta_{пр.}^3}=1,2 \frac{8 \cdot 219 \cdot 26 \cdot 10^{-9}}{3,14 \cdot 3,6^3 \cdot 10^{-9}}=373,12 \text{ МПа;}$$

$$\tau_{min}=k' \frac{8 \cdot P_{пр. min} D_{пр.}}{\pi \delta_{пр.}^3}=1,2 \frac{8 \cdot 30 \cdot 26 \cdot 10^{-9}}{3,14 \cdot 3,6^3 \cdot 10^{-9}}=51,1 \text{ МПа.}$$

Уртача көчәнеш

$$\tau_m=\frac{\tau_{max}+\tau_{min}}{2}=\frac{373,12+51,1}{2}=212,11 \text{ МПа.}$$

Көчәнешнең амплитудалы кыйммәте

$$\tau_a=\frac{\tau_{max}-\tau_{min}}{2}=\frac{373,12-51,1}{2}=161 \text{ МПа.}$$

Пружина өчен $\tau_{ак}=\tau_a=76,5 \text{ МПа.}$

$\alpha_\tau=0,2$ булганда чыдамлылык запасы

$$n_\tau=\tau_{-1}/(\tau_{ак}+\alpha_\tau \tau_m)=350/(76,5+0,2 \cdot 212,11)=2,94.$$

Үз тирбәнүләр ешлыгы

$$n_{үз}=2,17 \cdot 10^7 \delta_{пр}/(i_{эшче} \cdot D_{пр.}^2)=2,17 \cdot 10^7 \frac{3,6}{7 \cdot 26^2}=16508,88 \text{ әйл/мин}$$

$$\frac{n_{үз}}{n_{бүлү вал}}=\frac{16508,88}{2600}=6,35 \text{ бөтен сан түгел!}$$

Билгеләнгән геометрик үлчәмнәр чыдамлылык таләпләренә җавап бирә һәм резонансны булдырмый.

Проектланучы двигательгэ карбюратор сайлау

Номиналь режимда тулы йөклөнөш вакытында һаваның кирәкле тотылуы

$$G_h = \eta_v V_h \frac{n}{120} \rho_o i,$$

монда

$\eta_v = 0,8$ - тутырылу коэффициенты (жылылык исәпләмәсеннән);

$V_h = 0,24$ л – цилиндрының эшче күләме;

$n = 5200$ әйл/мин - бирелгән;

$i = 4$ - бирелгән;

$\rho_o = 1,2$ кг/м³ (жылылык исәпләмәсеннән);

$$G_h = 0,8 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3} \frac{5200}{120} \cdot 1,2 \cdot 4 = 0,04 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Минималь тотрыклы әйләнәшләрне $n_{\min} = 600$ әйл/мин һәм ягулык бөркүне тәмин итүче бу әйләнәшләрдә һаваның минималь тизлеген $W_{h \min} \geq 15$ м/с исәпкә алып, диффузорда һаваның тизлеген исәпләп чыгарабыз

$$W_h = W_{h \min} \cdot \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\min}} = 15 \cdot \frac{5200}{600} = 130 \text{ м/с}.$$

Диффузорда бу тизлектә һаваның сирәкләнүе

$$\Delta p_{\text{диф.}} = W_h^2 \frac{\rho_o}{2} = 130^2 \frac{1,2}{2} = 10140 \text{ Па} = 10,14 \text{ КПа}.$$

Диффузорның диаметры

$$d_{\text{диф}} = \sqrt{\frac{4G_h}{\pi \mu_v \omega_e \rho_o}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 0,86 \cdot 130 \cdot 1,2}} = 0,0195 \text{ м} = 19,5 \text{ мм},$$

монда $\mu_v = 0,86$ дип кабул итәбез (0,8 дән 0,9 га кадәр).

Уртача статик мәгълүматлар белән чагыштыру: $i = 4$ булганда, пульсация коэффициенты $a_{\text{пульс}} = 13$ кыйммәтен ала.

Катнашма камерасының диаметры

$$d_{\text{кат.кам.}} = a_{\text{пульс.}} \sqrt{V_h i \frac{n}{1000}} = 13 \sqrt{0,24 \cdot 4 \frac{5200}{1000}} = 29 \text{ мм};$$

$\frac{d_{\text{кат.кам}}}{d_{\text{диф}}} = \frac{29}{19,5} = 1,49$; $\frac{d_{\text{кат.кам}}}{d_{\text{диф}}} = 1,4$ чагыштырмасы оптималь санала.

Ул вакытта $d_{\text{диф}} = \frac{29}{1,4} = 20,7 \text{ мм.}$

Номиналь режимда диффузордагы һаваның тизлеге

$$\mu_v W_h = \frac{4G_h}{\pi d_{\text{диф}}^2 \rho_o} = \frac{4 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 0,0207^2 \cdot 1,2} = 99 \text{ м/с;}$$

$$W_h = \frac{\mu_v W_h}{\mu_v} = \frac{99}{0,86} = 115 \text{ м/с;}$$

бу тизлек кыйммәтенең аскы чиге, яхшы ваклану һәм тамчының парга әйләнүе өчен кирәкле, ләкин бу икеләтә диффузорны урнаштыру өчен кирәк.

Тышкы диффузорның диаметры

$$d_{\text{дифI}} = 0,8 d_{\text{кат.кам}} = 0,8 \cdot 29 = 23,2 \text{ мм.}$$

Эчке диффузорның диаметры

$$d_{\text{дифII}} = 0,25 d_{\text{кат.кам}} = 0,25 \cdot 29 = 7,25 \text{ мм.}$$

Май насосын исәпләү

Двигательдә эшләп чыгарылган жылылыкның гомуми микъдары

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3600} = \frac{44 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \cdot 10,24 \frac{\text{кг}}{\text{сәг}}}{3600} = 0,125 \frac{\text{МДж}}{\text{с}};$$

G_T — жылылык исәпләмәсеннән.

Майлау системасына барлык жылылык микъдарының 0,03 генә җибәрелә дип алырга

$$Q_m = 0,03 Q_o = 0,03 \cdot 0,125 = 0,00375 \frac{\text{МДж}}{\text{с}}.$$

Майның әйләнеп йөрүче чыгымы

$$V_{\text{ц.}} = \frac{Q_m}{\rho_m c_m \Delta t} = \frac{3,75 \text{ КДж/с}}{900 \text{ кг/м}^3 \cdot 2,1 \frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 10^\circ} = 0,0002 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 0,2 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Гарантияле әйләнөп йөрүче чыгым

$$V'_{\text{ц}} = 2V_{\text{ц}} = 0,0004 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Насосның бирү коэффициенты вакытында $\eta_{\text{м.н.}} = 0,6$

$$V_{\text{исп.}} = \frac{V'_{\text{ц}}}{\eta_{\text{м.н.}}} = \frac{0,0004}{0,6} = 0,00067 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 0,67 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

- Эләктерелеш модуле $m = 4,5 \text{ мм} = 0,0045 \text{ м}$;
- тешнең биеклегө $h = 2m = 0,009 \text{ м}$;
- тешләрнең саны $Z = 7$.

Тешле тәгәрмәчнең башлангыч әйләнәсенәң диаметры

$$D_o = Zm = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ мм} = 0,315 \text{ м}.$$

Тышкы әйләнә диаметры

$$D = m(Z+2) = 4,5(7+2) = 40,5 \text{ мм} = 0,0405 \text{ м}.$$

Тышкы диаметрда тизлекне $U_{\text{н}} = 7 \text{ м/с}$ дип кабул итәргә кирәк.

Әйләнү ешлығы

$$n_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} 60}{\pi D} = \frac{7 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,0405} = 3303 \text{ әйл/мин.}$$

Тапшыру чагыштырмасы

$$\frac{n}{n_{\text{н}}} = \frac{5200}{3303} = 1,5743263,$$

бу бик уңайсыз, чагыштырманы кабул итәргә

$$\frac{n}{n_{\text{н}}} = 1,57.$$

Моннан

$$n_{\text{н}} = \frac{5200}{1,57} = 3312 \text{ әйл/мин.}$$

Тешле тәгәрмәч тешенәң озынлығы

$$b = \frac{60V_{ис\acute{a}пл.}}{2\pi m^2 Z n_n} = \frac{60 \cdot 0,00067}{6,28 \cdot 0,0045^2 \cdot 7 \cdot 3312} = 0,0136 м = 13,6 мм.$$

Системада эшче басымны $p_{сист.} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ($\sim 5 \text{ кг/см}^2$) һәм насосның механик ф.э.к $\eta_{м.н.} = 0,87$ дип билгеләргә кирәк. Насосның йөрткеченә егәрлек

$$N_{нас} = \frac{V_{ис\acute{a}пл.} p_{сист.}}{\eta_{м.н.}} = \frac{0,00067 м^3/с \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{0,87} =$$

$$= 385 \frac{\text{Нм}}{с} = 0,385 \text{ кВт},$$

бу двигатель егәрлегеннән 1% ка гына кимрәк.

Суыту системасын исәпләү

Суыту системасына жибәрелә торган жылылыкның күләме

$$Q_{суыт.} = c i \cdot D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u) / \alpha H_u =$$

$$= 0,5 \cdot 4 \cdot 7,2^{2,2} \cdot 5200^{0,6} \frac{44 - 3,5}{0,94 \cdot 44} = 25552 \text{ Дж/с.}$$

Ягъни суыту системасына файдалы егәрлекнең 2/3 жибәрелә. Суытучы сыеклыкның чыгымы – А-40 тосол сыеклыгы.

$$G_{сыек} = \frac{Q_{суыт.}}{c_{сыек} \Delta t} = \frac{25552}{3350 \cdot 8} = 0,95 \text{ кг/с.}$$

Насос аша әйләнәп йөрүче

$$G_{ц.} = \frac{G_{сыек}}{\eta_n \rho_{сыек}} = \frac{0,95}{0,87 \cdot 1075} = 0,001 \frac{\text{м}^3}{с} \text{ (1 л/с).}$$

Конструктив фикерләрдән чыгып, втулканың диаметрын $d_{втул.} = 30 \text{ мм}$ итеп билгеләргә, ул вакытта $r_o = 15 \text{ мм}$.

Керү каналының радиусы

$$r_1 = \sqrt{0,2 G_{ц.} + r_o^2} = \sqrt{0,2 \cdot 0,001 + 0,015^2} = 0,0206 м.$$

Гидравлик ф.э.к. $\eta_h = 0,56$ һәм $p_c = 130 \text{ КПа}$ булганда, сыеклыкның әйләнмә тизлеге

$$U_2 = \sqrt{\frac{P_{\text{сыек}}}{\rho_{\text{сыек}} \eta_h}} = \sqrt{\frac{13 \cdot 10^4}{1075 \cdot 0,56}} = 14,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Насос $n_{\text{нас.}} = 3800$ әйл/мин (тапшыргыч чагыштырмасы 0,73) ешлығы белән әйләнгәндә канатчыкның чыгу радиусы

$$\omega_{\text{нас.}} = \frac{2\pi n_{\text{нас.}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3800}{60} = 398 \frac{1}{\text{с}};$$

$$r_2 = \frac{U_2}{\omega_{\text{нас.}}} = \frac{14,7}{398} = 0,037 \text{ м} = 37 \text{ мм.}$$

Калакларның киңлеген $b_1 = 10$ мм, $b_2 = 4,5$ мм дип билгеләргә. Калаклар саны – 5.

Насоска кирәкле егәрлек

$$N_{\text{нас.}} = \frac{G_{\text{ц}} P_{\text{сыек}}}{\eta_{\text{мех.}}} = \frac{0,001 \cdot 13 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2}{0,9} = 144 \text{ Вт},$$

бу номиналь егәрлекнең N_e 0,4 %.

Жилләткечне исәпләү

Житештерүчәнлек

$$G_{\text{һава}} = \frac{Q_{\text{суыт.}}}{\rho_{\text{һава}} c_{\text{һава}} \Delta t} = \frac{25552}{1,02 \cdot 1005 \cdot 25} = 1 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Жилләткечнең этеме $\Delta p_{\text{тракт}} = 800$ Па булганда, кирәк булган егәрлек

$$N_{\text{жил.}} = \frac{G_{\text{һава}} \Delta p_{\text{тракт}}}{\eta_{\text{жил.}}} = \frac{1 \cdot 800}{0,38} \cdot 10^{-3} = 2,1 \text{ кВт},$$

$\eta_{\text{жил}} = 0,38$ – заклепкалап ясалган жилләткечнең ф.э.к.

Радиаторның фронталь мәйданы

$$F_{\text{фр.}} = \frac{G_{\text{һава}}}{W_{\text{һава}}} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ м}^2.$$

Жилләткечнең диаметры

$$D_{\text{жил.}} = 2 \sqrt{\frac{F_{\text{фр.}}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,1}{3,14}} = 0,3569 \text{ м},$$

$D_{ж\text{ил.}} = 0,36 \text{ м}$ дип билгеләргә кирәк.

Калакның әйләнмә тизлегә

$$U = 2,5 \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{тракт}}}{\rho_{\text{һава}}}} = 2,5 \sqrt{\frac{800}{1,02}} = 70 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Жилләткечнән әйләнү ешлығы

$$n_{\text{в}} = \frac{60U}{\pi D_{\text{ж\text{ил.}}}} = \frac{60 \cdot 70}{3,14 \cdot 0,36} = 3700 \text{ әйл/мин.}$$

Су насосы өчен әйләнү ешлығы $n_{\text{нас.}} = 3800 \text{ әйл/мин}$, шуңа күрә насос һәм жилләткеч бер валда урнашырга мөмкин.

3.2.ӨРДЕРТҮСЕЗ ДИЗЕЛЬНЕ ИСӘПЛӘУ ҮРНӘГЕ

Бирем: «Фермер» автомобиле өчен күп максатка ярашлы дизель проектын төзү; минутына 2200 әйләнеш ясаганда егәрлеге 37 КВт , рәтле, дүрттактлы, дүрт цилиндрлы, дизель ягулыгы – жәйге һәм кышкы.

Кабул итәбез:

- артык һаваның коэффициенты $\alpha = 1,56$;
- кысу дәрәжәсе $\varepsilon = 18,5$ (кышкы чорда кабызып жибәрү өчен);
- $K = S/D = 1,0$;
- $c_n \approx 8 \text{ м/с}$ (§1.10 кара).

Ягулыкның составы: $C = 0,87$; $H = 0,126$; $O = 0,004$.

Ягулыкның түбән жылылык хасил итү мөмкинлегә

$$H_u = 42,4 \text{ МДж/кг.}$$

1 кг ягулык яндыру өчен теоретик яктан кирәк булган һава микъдары

$$L_o = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,5 \frac{\text{КМоль}}{\text{кг}}$$

$$l_o = L_o \cdot \mu_{\text{һава}} = 0,5 \cdot 28,96 = 14,46 \frac{\text{кг һава}}{\text{кг ягулык}};$$

$\alpha = 1,56$ булса, һаваның кирәкле микъдары

$$M_1 = \alpha L_o = 1,56 \cdot 0,5 = 0,78 \frac{\text{КМоль нава}}{\text{кг ягулык}}.$$

Яну продуктларының составы:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,87}{12} = 0,0725 \frac{\text{КМоль} CO_2}{\text{кг ягулык}};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,126}{2} = 0,063 \frac{\text{КМоль} CO_2}{\text{кг ягулык}};$$

$$M_{N_2} = 0,792 M_1 = 0,6178 \frac{\text{КМоль} N_2}{\text{кг ягулык}};$$

$$M_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L_o = 0,0582 \frac{\text{КМоль} O_2}{\text{кг ягулык}};$$

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} + M_{O_2} = 0,8115 \frac{\text{КМоль яну.прод.}}{\text{кг ягулык}};$$

$$\mu_o = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,8115}{0,78} = 1,04.$$

Газ алмашу процессларын исәпләү

Мохитнең параметрлары:

$$p_o = 0,1013 \text{ МПа}; T_o = 293 \text{ К}.$$

Чыгару вакытында калдык газларның параметрлары:

$$p_r = 0,12 \text{ МПа}, T_r = 770 \text{ К}.$$

Стенкалардан жылыту $\Delta T = 20$.

Клапан киселешендә һаваның тизлегә $W_{\text{нава}} = 65 \text{ м/с}$ (§1.2 һәм §2.3.1 кара)

Кертүдә гидравлик каршылык (кокильгә алюминий эретмәле коелма) $(\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) = 3$.

Кертүдә тулы басымның югалтулары

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) \rho_o \frac{W_{\text{нава}}^2}{2} = 3 \cdot 12 \cdot \frac{65^2}{2} = 7600 \text{ Па} = 0,0076 \text{ МПа}$$

Кертү ахырында цилиндрдагы басым

$$p_a = p_o - \Delta p_a = 0,1013 - 0,0076 = 0,0937 \text{ МПа.}$$

Калдык газларның коэффициенты (номиналь режимда $\varphi_{\text{ес.кор.}} = 1$)

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{293 + 20}{770} \cdot \frac{0,12}{18,5 \cdot 0,0937 - 0,12} = 0,03.$$

Кертү ахырында эшче жисемнең температурасы

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 20 + 0,03 \cdot 770}{1,03} = 326 \text{ К (} 50^\circ \text{C)}.$$

Тутыру коэффициенты

$$\begin{aligned} \eta_v &= \frac{T_o}{T_o + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{\varepsilon \cdot p_a - p_r}{p_o} = \\ &= \frac{293}{313} \cdot \frac{1}{17,5} \cdot \frac{18,5 \cdot 0,0937 - 0,12}{0,1013} = 0,85 \end{aligned}$$

Чын моль үзгөрүлөргө коэффициенты

$$\mu_o = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,04 + 0,03}{1,03} = 1,039.$$

Кысу процессы

$$p_k = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,0937 \cdot 18,5^{1,367} = 5,06 \text{ МПа;}$$

$$T_k = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 326 \cdot 18,5^{1,367 - 1} = 952 \text{ К (} 679^\circ \text{C)};$$

$$U_c = c_v^{t_c} \cdot (T_c - 273).$$

Наваның мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{679} = 20,6 + 2,638 \cdot t_c \cdot 10^{-3} =$$

$$= 20,6 + 2,638 \cdot 679 \cdot 10^{-3} = 22,39 \text{ КДж/КМоль} \cdot \text{град};$$

калдык газларга игътибар итмәскә, шуңа күрә

$$c_v^{t_c} = c_v^{679};$$

$$U_c = 22,39 \cdot (679 - 273) = 9090 \text{ КДж/Кмоль.}$$

Яну процессы

Яну ахырындагы температура:

Яну басымын $p_z = 11 \text{ МПа}$ дип билгелэргә.

Моннан, $\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{11}{5,06} = 2,17$; $\lambda = 2,2$ дип билгелэргә.

Жылылыкны куллану коэффициентын $\xi_z = 0,82$ итеп кабул итэргә.

$$\frac{\xi_z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + [c_v^{t_c} + 8,314\lambda] \cdot t_c + 2270(\lambda - \mu_o) = \mu_o \cdot c_p^{t_z} \cdot t_z$$

$$\frac{0,82 \cdot 42400}{0,78 \cdot 1,03} + [22,39 + 8,314 \cdot 2,2] \cdot 679 + 2270(2,2 - 1,039) =$$

$$= 1,039 \cdot c_p^{t_z} \cdot t_z ;$$

$$c_p^{t_z} \cdot t_z = 70773 \text{ КДж/Кмоль.}$$

Дизель ягулыгының яну продуктарын да икегә бүлеп карыйбыз: $\alpha = 1$ булганда яну продуктары һәм кулланылмаган һава:

$$M_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792L_o = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,792 \cdot 0,5 = 0,5315 ;$$

$$M_{\text{һава}} = (\alpha - 1)L_o = (1,56 - 1) \cdot 0,5 = 0,28;$$

$$M_2 = M_{\alpha=1} + M_{\text{һава}} = 0,5315 + 0,28 = 0,8115;$$

$$r_{\text{prod}(\alpha=1)} = \frac{M_{\alpha=1}}{M_2} = \frac{0,5315}{0,8115} = 0,65496$$

$$r_{\text{һава}} = \frac{M_{\text{һава}}}{M_2} = \frac{0,28}{0,8115} = 0,34504$$

$$\} r_{\text{prod}(\alpha=1)} + r_{\text{һава}} = 1$$

$\alpha = 1$ булганда яну продуктарының молье жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{t_z}_{\text{prod}(\alpha=1)} = 25,1225 + 0,001955 \cdot t_z .$$

Һаваның молье жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{t_z}_{\text{һава}} = 22,387 + 0,001449 t_z .$$

Яну продуктарының мольле жылысыйдырышлыгы күлэм үзгәрмәс булганда

$$c_v^{t_z} = r_{\text{prod}(\alpha=1)} \cdot c_{\text{prod}(\alpha=1)}^{t_z} + r_{\text{hava}} \cdot c_{\text{hava}}^{t_z} =$$

$$= 0,65496(25,1225 + 0,001955 t_z) + 0,34504(22,387 + 0,001449 t_z) =$$

$$= 24,1786 + 0,00178 t_z.$$

Яну продуктарының мольле жылысыйдырышлыгы басым үзгәрмәс булганда

$$c_p^{t_z} = c_v^{t_z} + 8,314;$$

беләбез

$$c_v^{t_z} = 24,1786 + 0,00178 t_z \quad \text{һәм} \quad c_p^{t_z} \cdot t_z = 70773;$$

төзибез

$$0,00178 t_z^2 + 32,49 t_z - 70773 = 0;$$

табабыз

$$t_z = \frac{-32,49 + \sqrt{32,49^2 + 4 \cdot 0,00178 \cdot 70773}}{2 \cdot 0,00178} = 1966^\circ \text{C};$$

$$T_z = 2240 \text{ K}.$$

Алдан киңәю дәрәжәсе

$$\rho = \frac{\mu_{\partial}}{\lambda} \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,039}{2,2} \cdot \frac{2240}{952} = 1,11.$$

Киңәю процессы

Политропа күрсәткече $n_2 = 1,25$;

киләсе киңәюнең дәрәжәсе

$$\delta = \varepsilon / \rho = 18,5 / 1,11 = 16,67;$$

киңәю ахырында басым

$$p_{\delta} = p_z / \delta^{n_2} = 11 / 16,67^{1,25} = 0,327 \text{ МПа};$$

$$T_{\delta} = T_z / \delta^{n_2 - 1} = 2240 / 16,67^{1,25 - 1} = 1108 \text{ K (875 } ^\circ\text{C)}.$$

Кабул ителгән T_r кыйммәтен тикшерергә

$$T_r = T_{\delta} / \sqrt[3]{\frac{p_{\delta}}{p_r}} = 1108 / \sqrt[3]{\frac{0,327}{0,12}} = 793 \text{ K}.$$

Исәпләүдә 770 K итеп кабул ителде.

$$\Delta = \frac{793 - 770}{770} = 0,03, \text{ бу тулысынча канәгатьләнерлек.}$$

Индикатор күрсәткечләр

Уртача индикатор басымы

$$p_i = \frac{0,95 p_c}{\varepsilon - 1} \left(\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right) =$$

$$= \frac{0,95 \cdot 5,06}{17,5} \left(2,2(1,11 - 1) + \frac{2,2 \cdot 1,11}{1,25 - 1} \left(1 - \frac{1}{16,67^{1,25 - 1}} \right) - \frac{1}{1,367 - 1} \left(1 - \frac{1}{18,5^{1,367 - 1}} \right) \right) = 0,93 \text{ МПа}$$

индикатор ф.э.к

$$\eta_i = \frac{p_i l_o \alpha}{H_u \rho_o \eta_v} = \frac{0,93 \cdot 14,46 \cdot 1,56}{42,4 \cdot 1,2 \cdot 0,85} = 0,485.$$

Ягулыкның чагыштырмача индикатор тотылуы

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} = \frac{3600}{42400 \cdot 0,485} = 0,175 \text{ кг/КВт·сәг.}$$

Механик югалтулар

$S/D > 1$; дизель; механик югалтуларның уртача басымын билгеләү өчен

$$p_m = 0,103 + 0,0118 c_n = 0,103 + 0,0118 \cdot 8 = 0,1974 \text{ МПа}$$

формуласын кабул итәргә кирәк.

Эффектив күрсәткечләр

Уртача эффектив басым

$$p_e = p_i - p_m = 0,93 - 0,1974 = 0,7326 \text{ МПа;}$$

механик ф.э.к.

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,7326}{0,93} = 0,7877;$$

эффeктив ф.э.к. $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,485 \cdot 0,7877 = 0,382$.

Киpэкле эшче күлэм

$$V_h = \frac{120 N_e}{ip_e n} = \frac{120 \cdot 37}{4 \cdot 0,7326 \cdot 2200} = 0,689 \text{ л} = 689 \text{ см}^3;$$

Цилиндрның диаметры

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot K}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 689 \text{ см}^3}{3,14 \cdot 1}} = 9,57 \text{ см}$$

$D=95 \text{ мм}$ кабул итэбeз һәм пешкәкнең йөрешен исәплибeз

$$S = \frac{4V_h}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 689}{3,14 \cdot 9,5^2} = 9,7 \text{ см};$$

Кабул ителгән K ны төгәллибeз

$$K = S/D = 97/95 = 1,021.$$

Пешкәкнең уртача тизлeгe

$$c_n = \frac{S \cdot n}{30} = \frac{0,097 \cdot 2200}{30} = 7,1 \text{ м/с},$$

кабул ителгән $c_n=8 \text{ м/с}$ тан 7,5 % ка кимрәк, бу канәгәтләнepлeк. Ягулыкның чагыштырмача эффeктив тотылуы

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,175}{0,7877} = 0,222 \text{ кг/КВт·сәг.}$$

Номиналь режимда ягулыкның бер сәгәткә тотылуы

$$G_T = g_e N_e = 0,222 \cdot 37 = 8,22 \text{ кг/сәг.}$$

Эффeктив бөтepүчe момент

$$M_e = 9554 \frac{N_e}{n} = 9554 \frac{37}{2200} = 160,7 \text{ Нм.}$$

Тышкы тизлeк характеристикасының төзeлeшe

$$N_{ex} = N_{e,ном} \frac{n_x}{n_{ном.}} \left[0,87 + 1,13 \frac{n_x}{n_{ном.}} - \left(\frac{n_x}{n_{ном.}} \right)^2 \right];$$

n_x	$\frac{n_x}{n_{ном.}}$	$1,13 \frac{n_x}{n_{ном.}}$	$(\frac{n_x}{n_{ном.}})^2$	N_{ex}	M_{ex}
800	0,3636	0,411	0,1322	15,46	184,6
1000	0,4545	0,5136	0,2066	19,79	189
1400	0,6364	0,719	0,405	27,87	190
1800	0,8182	0,9245	0,6694	34	180,7
2200	Номиналь режим			37	160,7

$$g_{ex} = g_{e.ном} \left[1,55 - 1,55 \frac{n_x}{n_{ном.}} + \left(\frac{n_x}{n_{ном.}} \right)^2 \right].$$

n_x	$\frac{n_x}{n_{ном.}}$	$1,55 \frac{n_x}{n_{ном.}}$	$(\frac{n_x}{n_{ном.}})^2$	$\frac{g_e}{\frac{кг}{КВт с\ddot{e}г}}$	$G_T, \frac{кг}{с\ddot{e}г}$
800	0,3636	0,5636	0,1322	0,257	4,00
1000	0,455	0,7045	0,2066	0,242	4,79
1400	0,6364	0,9864	0,405	0,223	6,22
1800	0,8182	1,2682	0,6694	0,219	7,45
2200	Номиналь режим			0,23	8,51

Максималь бөтерүче момент $M_{e.мах}=190,5 \text{ Нм}$, моңа $n_m=1200 \text{ айл/мин}$ булганда ирешелә.

Тизлек коэффициенты $K_c = \frac{n_m}{n_{ном}} = \frac{1200}{2200} = 0,545.$

Яраклашу коэффициенты $K_n = \frac{M_{e.мах}}{M_{e.ном}} = \frac{190,5}{160,7} = 1,185.$

Башка исәпләүләр (ягулыкны тәмин итү системасыннан башка) бензин двигателе исәпләвенә охшаш булалар. Бу проектта дизельнең ягулык белән тәмин итү системасын исәпләү каралмаган.

3.3. ГАЗ ДВИГАТЕЛЕН ИСӘПЛӘУ ҮРНӘГЕ

Бирем: дүрттактлы, 2 цилиндрлы ВАЗ-1111 двигателен егәрлекне минималь югалтулар белән табигый газга күчерергә.

Башлангыч мәгълүматлар: 2-цилиндрлы двигатель, терсәкле валның терсәкләре бер-берсенә карата 360^0 ка борылган, дүрттактлы, терсәкле вал тулы терәкле, блок-картер чуеннан коелган, $D=76$ мм, $S=71$ мм, номиналь әйләнү ешлыгы 5600 әйл/мин, номиналь егәрлек 21,3 КВт.

Табиғый газга күчкәндә, октан саны (мотор ысулы белән) табиғый газның 115 ± 5 берәмлеген тәшкил иткәнлеген исәпкә алсак, кысылу дәрәжәсен $\varepsilon = 12$ дип билгеләргә кирәк.

Табиғый газның составын түбәндәгечә кабул итәргә:

Метан CH_4 -95% күләме буенча;

Пропан C_3H_8 -3% , Азот N_2 -2%.

Ягулыкның түбән жылылык хасил итү мөмкинлеге

$$CH_4 \rightarrow H_u = 892 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}};$$

$$C_3H_8 \rightarrow H_u = 2223 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}};$$

$$H_{u(\text{газ})} = 0,95 \cdot 892 + 0,03 \cdot 2223 = 914 \frac{\text{МДж}}{\text{КМоль}};$$

Безгә кирәк $\text{МДж}/\text{м}^3$ да, шунлыктан исәплибез 1 КМоль да стандарт шартларда ($p_o = 0,1013$ МПа, $T_o = 293$ К) купме $V(\text{м}^3)$ газ урнашырлыгын.

$$1 \text{ КМоль} = V[\text{м}^3] \cdot \rho_o [\text{КМоль} / \text{м}^3];$$

$$\rho_o = \frac{p_o}{R \cdot T_o} = \frac{0,1013 [\text{МПа}]}{8315 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{КМоль} \cdot \text{град}} \right] \cdot 293 [\text{град}]} =$$

$$= \frac{1,013 \cdot 10^5 [H / \text{м}^2]}{8315 \left[\frac{H \cdot \text{м}}{\text{КМоль} \cdot \text{град}} \right] \cdot 293 [\text{град}]} = 0,04158 \left[\frac{\text{КМоль}}{\text{м}^3} \right];$$

$$V = \frac{1 [\text{КМоль}]}{0,04158 \left[\frac{\text{КМоль}}{\text{м}^3} \right]} = 24 \text{ м}^3.$$

$$H_{u(газ)} = \frac{914}{24} = 38,08 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$$

Табиғый газның тығызлығы

$$\rho_o = 0,08386 \sum_{i=1}^5 r_n + 0,583 \sum_{i=1}^5 nr_n + 1,165 r_{N_2}.$$

Молекулада углеводород белән углерод атомы күләменен күләмле өлеше:

$$r_1 = r_{CH_4} = 0,95; \quad nr_1 = 1 \cdot 0,95 = 0,95;$$

$$r_2 = r_{C_2H_6} = 0; \quad nr_2 = 0;$$

$$r_3 = r_{C_3H_8} = 0,03; \quad nr_3 = 3 \cdot 0,03 = 0,09;$$

$$r_4 = r_{C_4H_{10}} = 0; \quad nr_4 = 0;$$

$$r_5 = r_{C_5H_{12}} = 0; \quad nr_5 = 0;$$

$$\begin{aligned} \rho_o &= 0,08386(0,95 + 0,03) + 0,583(0,95 + 0,09) + 1,165 \cdot 0,02 = \\ &= 0,7118 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \end{aligned}$$

20 °C һәм стандарт басым булганда.

Табиғый газның 1 м³ яндырыр өчен кирәк булган һава микъдары

$$0,95(CH_4 + 2O_2) = 0,95CO_2 + 1,9H_2O;$$

$$0,03(C_3H_8 + 5O_2) = 0,09CO_2 + 0,12H_2O.$$

1 КМоль табиғый газны яндырыр өчен $0,95 \cdot 2 + 0,03 \cdot 5 = 2,05$ КМоль кислород яки $2,05 / 0,208 = 9,856$ КМоль һава кирәк

$$L_o = 9,856 \frac{\text{КМоль һава}}{\text{КМоль газ}} = 9,856 \frac{\text{м}^3 \text{ һава}}{\text{м}^3 \text{ газ}}.$$

1 Кмоль газ яну продуктларында:

$$CO_2 \rightarrow 0,95 + 0,95 = 1,04 \text{ КМоль},$$

$$H_2O \rightarrow 1,9 + 0,12 = 2,02 \text{ Кмоль}$$

$$N_2 \rightarrow 0,792 \cdot 9,856 = 7,8059 \text{ Кмоль азот һавадан һәм } 0,02 \text{ Кмоль азот газдан — барысы } 7,826 \text{ була.}$$

Шулай итеп, 1 м³ янган газга:

$CO_2 - 1,04 \text{ м}^3$; $H_2O - 2,02 \text{ м}^3$; $N_2 - 7,826 \text{ м}^3$.

1 м^3 табигый газга саф катнашма микъдары

$$M_1 = 1 + \alpha L_o = 1 + 1 \cdot 9,856 = 10,856 \text{ м}^3 \text{ катнашма} / \text{м}^3 \text{ газ}.$$

Яну продуктларының микъдары

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} = 1,04 + 2,02 + 7,826 = 10,886 \frac{\text{м}^3 \text{ яну прод.}}{\text{м}^3 \text{ газ}};$$

$$\mu_o = \frac{M_2}{M_1} = \frac{10,886}{10,856} = 1,00276.$$

Яну продуктларының күләмле өлеше

$$r_{CO_2} = \frac{1,04}{10,886} = 0,0955;$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,02}{10,886} = 0,1855; \quad 0,0955 + 0,1855 + 0,719 = 1;$$

$$r_{N_2} = \frac{7,826}{10,886} = 0,719;$$

Газ-һава катнашмасының егәрлекле составының ($\alpha=1$) жылылык хасил итү мөмкинлеге

$$H_u = \frac{H_{u, \text{газ}}}{1 + \alpha L_o} = \frac{38080 \text{ КДж} / \text{м}^3}{1 + 1 \cdot 9,856} = 3508 \frac{\text{КДж}}{\text{м}^3 \text{ катн.}}.$$

Газ алмашу параметрлары

$p_o = 0,1013 \text{ МПа}$; $T_o = 293 \text{ К}$; $p_r = 0,12 \text{ МПа}$; $T_r = 1000 \text{ К}$ дип кабул итәргә, корылманың стеналардан жылынууы $\Delta t = 10^\circ$;

$\rho_{\text{корылма}} = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$, $(\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) = 3,4$; клапан киселешендә катнашманың тизлеге $W_{\text{кл.}} = 90 \text{ м} / \text{с}$.

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{\text{кертү}}) \frac{\rho W_{\text{кл.}}^2}{2} = 3,4 \cdot \frac{1,2 \cdot 8100}{2} = 16524 \text{ Па} = 0,0165 \text{ МПа}.$$

Кертү ахырында басым

$$p_a = p_o - \Delta p_a = 0,1013 - 0,0165 = 0,0848 \text{ МПа}.$$

Калдык газларның коэффициенты

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta t}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{293 + 10}{1000} \cdot \frac{0,12}{12 \cdot 0,0848 - 0,12} = 0,04.$$

Тутыру ахырында температура

$$T_a = \frac{T_o + \Delta t + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 10 + 0,04 \cdot 1000}{1 + 0,04} = 330 \text{ K } (57^\circ \text{C}).$$

Чын моль үзгөрүенен коэффициенты

$$\mu_o = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,00276 + 0,04}{1,04} = 1,0026.$$

Янганда мольлэрнен күлөмө 0,26% үзгөрө, $\mu_o = 1$ дип кабул итэргө.

Тутыру коэффициенты

$$\eta_v = \frac{T_o}{T_o + \Delta t} \cdot \frac{\varepsilon \cdot p_a - p_r}{p_o(\varepsilon - 1)} = \frac{293}{293 + 10} \cdot \frac{12 \cdot 0,0848 - 0,12}{0,1013(12 - 1)} = 0,779.$$

Кысу процессы

Кысунун политропа күрсөткөчөн $n_1 = 1,34$ дип кабул итэргө.

Кысу ахырында басым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,0848 \cdot 12^{1,34} = 2,37 \text{ МПа.}$$

Кысу ахырында эшче жисемнэрнен температурасы

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 330 \cdot 12^{1,34 - 1} = 768 \text{ K } (495^\circ \text{C}).$$

Кысу ахырында эшче жисемнен эчке энергиясе.

Наванын мольле жылысыйдырышлылыгы

$$c_{v \text{ нава}}^{495} = 20,6 + 2,638 t_c \cdot 10^{-3} = 20,6 + 2,638 \cdot 495 \cdot 10^{-3} = 21,9 \text{ КДж/КМоль} \cdot \text{град.}$$

Температуранын 1500° ка кадэр интервалында калдык газларнын мольле жылысыйдырышлылыгы

$$\begin{aligned} c_{v \text{ CO}_2}^{495} &= 27,941 + 0,019 t_c - 5,5 t_c^2 \cdot 10^{-6} = \\ &= 27,941 + 0,019 \cdot 495 - 5,5 \cdot 495^2 \cdot 10^{-6} = 36 \text{ КДж/КМоль} \cdot \text{град}; \\ c_{v \text{ H}_2\text{O}}^{495} &= 24,953 + 5,36 t_c \cdot 10^{-3} = 24,953 + 5,36 \cdot 495 \cdot 10^{-3} = \end{aligned}$$

$$= 27,606 \text{ КДж/КМоль} \cdot \text{град};$$

$$c_{v N_2}^{495} = 20,398 + 2,5 t_c \cdot 10^{-3} = 20,398 + 2,5 \cdot 495 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 21,6355 \text{ КДж/КМоль} \cdot \text{град}.$$

$$c_{v \text{ к.з.}}^{495} = r_{CO_2} \cdot c_{v CO_2}^{495} + r_{H_2O} \cdot c_{v H_2O}^{495} + r_{N_2} \cdot c_{v N_2}^{495} =$$

$$= 0,0955 \cdot 36 + 0,1855 \cdot 27,606 + 0,719 \cdot 21,6355 = 24,115 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}}$$

Кысу ахырында эшче жисемнен мольле жылысыйдырышлыгы

$$c_v^{495} = \frac{c_{v \text{ хава}}^{495} + \gamma_r \cdot c_{v \text{ к.з.}}^{495}}{1 + \gamma_r} = \frac{21,9 + 0,04 \cdot 24,115}{1 + 0,04} = 21,98 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль град}}.$$

Табигый газның 1 м³ ка кадэр яну ахырында

$$M_1(1 + \gamma_r) = 10,856(1 + 0,04) = 11,29 \text{ м}^3 \text{ эшче жис. / м}^3 \text{ газ булачак.}$$

Газны 1 м³ итеп алганда, эшче жисемнен кысу ахырына эчке энергиясе

$$U_c = c_v^{495} \cdot \frac{M_1(1 + \gamma_r)}{24} \cdot t_c = 21,98 \cdot \frac{10,856(1 + 0,04)}{24} \cdot 495 =$$

$$= 5119 \text{ КДж/м}^3.$$

Яну процессы

Яну нәтижәсендә жылылык булачак

$$Q_{\text{яну}} = \xi_z H_u = 0,82 \cdot 38080 = 31226 \text{ КДж}$$

Югары нокта тирәсендә эшче жисемгә жылылык

$$U_z = Q_{\text{яну}} + U_c = 31226 + 5119 = 36345 \text{ КДж.}$$

Икенче яктан (моль үзгөрүләр бөтенләй булмый диярлек)

$$U_z = c_v^{t_z} \cdot \frac{M_1(1 + \gamma_r)}{24 \text{ м}^3 / \text{КМоль}} t_z;$$

монда
$$c_v^{t_z} = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot c_{v i}^{t_z}.$$

t_z нең түбәндәге кыйммәтен билгеләргә:

1). $t_z = 2500^\circ \text{C}$; $1500 < t_z < 2800$ диапазоны бәйлелегендә

$$c_{\nu CO_2}^{2500} = 39,123 + 3,349t_z \cdot 10^{-3} = 39,123 + 3,349 \cdot 2500 \cdot 10^{-3} = 47,49;$$

$$r_{CO_2} \cdot c_{\nu CO_2}^{2500} = 0,0955 \cdot 47,49 = 4,5358;$$

$$c_{\nu H_2O}^{2500} = 26,67 + 4,438t_z \cdot 10^{-3} = 26,67 + 4,438 \cdot 2500 \cdot 10^{-3} = 37,765;$$

$$r_{H_2O} \cdot c_{\nu H_2O}^{2500} = 0,1855 \cdot 37,765 = 7,0054;$$

$$c_{\nu N_2}^{2500} = 21,951 + 1,457t_z \cdot 10^{-3} = 21,951 + 1,457 \cdot 2500 \cdot 10^{-3} = 25,5935$$

$$r_{N_2} \cdot c_{\nu N_2}^{2500} = 0,719 \cdot 25,5935 = 18,4017;$$

$$\begin{aligned} c_{\nu}^{2500} &= r_{CO_2} \cdot c_{\nu CO_2}^{2500} + r_{H_2O} \cdot c_{\nu H_2O}^{2500} + r_{N_2} \cdot c_{\nu N_2}^{2500} = \\ &= 4,5358 + 7,0054 + 18,4017 = 29,9429; \end{aligned}$$

$$U_z^{2500} = 29,9429 \frac{10,856(1 + 0,04)}{24} 2500 = 35214 \frac{\text{КДж}}{\text{КМоль}}.$$

$$2). t_z = 2550^\circ \text{C};$$

$$c_{\nu CO_2}^{2550} = 39,123 + 3,349t_z \cdot 10^{-3} = 39,123 + 3,349 \cdot 2550 \cdot 10^{-3} = 47,6629$$

$$r_{CO_2} \cdot c_{\nu CO_2}^{2550} = 0,0955 \cdot 47,6629 = 4,5518;$$

$$c_{\nu H_2O}^{2550} = 26,67 + 4,438t_z \cdot 10^{-3} = 26,67 + 4,438 \cdot 2550 \cdot 10^{-3} = 37,9869$$

$$r_{H_2O} \cdot c_{\nu H_2O}^{2550} = 0,1855 \cdot 37,9869 = 7,0465;$$

$$c_{\nu N_2}^{2550} = 21,951 + 1,457t_z \cdot 10^{-3} = 21,951 + 1,457 \cdot 2550 \cdot 10^{-3} = 25,6663$$

$$r_{N_2} \cdot c_{\nu N_2}^{2550} = 0,719 \cdot 25,6663 = 18,4546;$$

$$\begin{aligned} c_{\nu}^{2550} &= r_{CO_2} \cdot c_{\nu CO_2}^{2550} + r_{H_2O} \cdot c_{\nu H_2O}^{2550} + r_{N_2} \cdot c_{\nu N_2}^{2550} = \\ &= 4,5518 + 7,0465 + 18,4546 = 30,0524; \end{aligned}$$

$$U_z^{2550} = 30,0524 \frac{10,856(1 + 0,04)}{24} 2550 = 36050 \text{ КДж};$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{U_z^{2550} - U_z^{2500}}{50} = \frac{36050 - 35214}{50} = 16,72;$$

$$\Delta U = U_z - U_z^{2550} = 36345 - 36050 = 295;$$

$$\Delta t = \frac{\Delta U}{dU/dt} = \frac{295}{16,72} = 133,85 = 18^\circ \text{C};$$

$$t_z = 2550 + \Delta t = 2550 + 18 = 2568^\circ \text{C};$$

$$T_z = 2841 \text{ K}.$$

Яну ахырында басым

$$p_z = \mu_o p_c \frac{T_z}{T_c} = 2,37 \frac{2841}{768} = 8,767 \text{ МПа}.$$

Чыдамлылыклы исәпләүләр өчен

$$p_z \text{ чыдам} = p_z \cdot 0,85 = 7,452 \text{ МПа}.$$

Басым күтәрелү дәрәжәсе

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{8,767}{2,37} = 3,7.$$

Киңәю процессы

Киңәю политропа күрсәткечен $n_2 = 1,25$ дип кабул итәргә.

Киңәю ахырында басым

$$p_o = \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{8,767}{12^{1,25}} = 0,393 \text{ МПа}.$$

Киңәю ахырында температура

$$T_o = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} = \frac{2841}{12^{1,25-1}} = 1526 \text{ K} (1316^\circ \text{C}).$$

Калдык газларның корректлылыгын тикшерү

$$T_r = T_o / \sqrt[3]{\frac{p_o}{p_r}} = 1526 / \sqrt[3]{\frac{0,393}{0,12}} = 1027 \text{ K}.$$

$$\text{Хата } \Delta = \frac{1027 - 1000}{1000} \cdot 100\% = 2,7\% . \text{ Бу рөхсәт ителә.}$$

Индикатор күрсәткечләр

Уртача индикатор басым

$$p_i = 0,95 \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$

$$= 0,95 \frac{2,37}{12 - 1} \left[\frac{3,7}{1,25 - 1} \left(1 - \frac{1}{12^{1,25 - 1}} \right) - \frac{1}{1,34 - 1} \left(1 - \frac{1}{12^{1,34 - 1}} \right) \right] =$$

$$= 1,058 \text{ МПа};$$

Индикатор ф.э.к.

$$\eta_i = 371,2 L_o T_o p_i \cdot 10^{-6} / H_u p_o \eta_v =$$

$$= 371,2 \cdot 9,856 \cdot 293 \cdot 1,058 \cdot 10^{-6} / (38,08 \cdot 0,1013 \cdot 0,779) = 0,377$$

Ягулыкның чагыштырма индикатор тотылуы

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} = \frac{3600}{38,08 \cdot 0,377} = 0,25 \text{ м}^3 / \text{КВт} \cdot \text{с} \cdot \text{г}.$$

Механик югалтулар

Механик югалтуларның уртача басымы.

Пешкәкнең тизлегә

$$c_n = \frac{S \cdot n}{30} = \frac{0,71 \cdot 5600}{30} = 13,25 \text{ м/с};$$

$$p_m = 0,039 + 0,0132 \cdot c_n = 0,039 + 0,0132 \cdot 13,5 = 0,2172 \text{ МПа}.$$

формуласын кабул итәргә кирәк.

Эффектив күрсәткечләр

Уртача эффектив басым

$$p_e = p_i - p_m = 1,058 - 0,2172 = 0,841 \text{ МПа}.$$

Механик ф.э.к.

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,841}{1,058} = 0,795.$$

Эффектив ф.э.к.

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,377 \cdot 0,795 = 0,3.$$

Газның чагыштырма эффектив тотылуы

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_{\lambda}} = \frac{0,25}{0,795} = 0,314 \text{ м}^3/\text{КВт}\cdot\text{с}\cdot\text{г}.$$

Эффектив егэрлек

$$N_e = \frac{V_h i p_e n}{120} = \frac{0,332 \cdot 2 \cdot 0,841 \cdot 5600}{120} = 26 \text{ КВт}.$$

Эффектив момент

$$M_e = 9554 \frac{N_e}{n} = 9554 \frac{26}{5600} = 46,5 \text{ Нм}.$$

Газның бер сэгатыкэ тотылуы

$$G_{\text{газ}} = g_e N_e = 0,314 \cdot 26 = 8,164 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{г}.$$

ТТХны бензин двигателенең ТТХ төзелеш алымы буенча төзөргә. Көтелгән хата 10% тан артмый. Индикаторлы диаграмманы төзүне бензин двигателе өчен диаграмма төзөгән шикелле үк башкарырга кирәк.

Яну ахырындагы басым баштагы двигатель белән чагыштырганда зурайганга күрә пешкәк төбенең, пешкәк бармагының, шатун кендегенең һәм көч шпилькаларының чыдамлылыкка исәпләүләрен үткәрергә кирәк.

ЭДЭБИЯТ

1. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М., Высшая школа, 1980г., 400с.
2. Автомобильные и тракторные двигатели. Часть 2, Конструкция и расчет автомобилей. Под. ред. Ленина И.М., М., Высшая школа, 1976г., 280с.
3. Автомобильные двигатели. Под ред. Ховаха М.С., М., Машиностроение, 1977г., 592с.

ЭЧТӘЛЕК

1.	Автомобиль двигательләренен теориясе.....	3
1.1.	Эчке янулы двигатель һәм мотор өчен ягулыклар ту- рында гомуми мәгълүматлар.....	3
1.1.1.	ЭЯД - ягулыкның химик энергиясен механик эшкә әверелдерүче машина.....	3
1.1.2.	Автомобиль двигательләренен төрләре.....	3
1.1.3.	ЭЯДдә энергия үзгәрешенен принципиаль схемасы..	4
1.1.4.	Чагыштырма егәрлек.....	6
1.1.5.	Автомобиль двигателенә куелган таләпләр.....	6
1.1.6.	Автомобиль двигательләре өчен ягулыклар.....	7
1.1.7.	Бер кг ягулыкның янып бетүе өчен кирәк булган һаваның теоретик микъдарын билгеләү.....	10
1.1.8.	Артык һава коэффициенты турында төшенчә.....	12
1.1.9.	Саф катнашма.....	13
1.1.10.	Ярлы һәм стехиометрик катнашмаларның яну продуктлары составы.....	14
1.1.11.	Бай катнашманың яну продуктлары составы.....	16
1.1.12.	Ягулыкның жылылык хасил итү мөмкинлеген.....	18
1.1.13.	Ягулыкларның төп сыйфатлары, ягулыкларга кулган таләпләр.....	21
1.2.	Газ алмашыну процесслары.....	22
1.3.	Кысу процессы.....	30
1.4.	Двигательдә эш җисменә жылылык бирү.....	35
1.4.1.	Бензин (газ) двигательләрендә эшче җисемгә жылылык бирү.....	36
1.4.2.	Дизельдә эшче җисемгә жылылык бирү.....	39
1.4.3.	Яну теориясеннән кайбер мәгълүматлар.....	41
1.4.4.	Дизельдә яну.....	44
1.4.5.	Мәжбүри кабызу белән эшләгән (бензин һәм газ) двигательдә катнашманың януы.....	51
1.5.	ЭЯДнең экологик куркынычсызлыгының кайбер мәсьәләре.....	61

1.5.1.	Тулысынча һәм тулысынча булмаган яну продуктлары.....	61
1.5.2.	Гамәлдә булган норматив документлар.....	63
1.6.	Киңәю процессы.....	64
1.7.	Индикатор күрсәткечләр.....	69
1.8.	Механик югалтулар.....	75
1.9.	Эффектив күрсәткечләр.....	78
1.10.	Цилиндрның төп үлчәмнәре.....	79
1.11.	Двигательнең жылылык балансы.....	81
1.12.	Эчке янулы двигательнең характеристикалары.....	82
1.12.1.	Бензин двигателенең тышкы тизлек характеристикасы.....	84
1.12.2.	Дизельнең тышкы тизлек характеристикасы.....	86
1.13.	КШМның кинематикасы.....	88
1.13.1.	Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең күчеше.....	88
1.13.2.	Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең тизлегенә.....	90
1.13.3.	Терсәкле валның борылыш почмагы функциясе буларак пешкәкнең тизләнеше.....	92
1.13.4.	Терсәкле валның шатун муенчасының тизлегенә.....	93
1.14.	КШМның динамикасы.....	93
1.14.1.	КШМда тәэсир итүче инерция көчләре.....	93
1.14.2.	Пешкәккә тәэсир итүче көчләр.....	95
1.14.3.	Терсәкле валның муенчаларына тәэсир итүче көчләр.....	96
1.15.	Двигательләр ясалышында чыдамлыкка исәпләүләр..	99
2.	Автомобиль двигательләрен исәпләү.....	108
2.1.	Аңлатма.....	108
2.2.	Жылылык исәпләмәсе.....	110
2.3.	Газ алмашуның параметрлары.....	113
2.3.1.	Кертү системасында басымның югалуы.....	113
2.3.2.	Газ алмашу сыйфатын билгеләүче параметрлар.....	114
2.4.	Кысу процессы.....	116

2.5.	Яну вакытында жылылык китерүче процессның исәпләмәсе.....	118
2.5.1.	Двигательдә жиңел ягулык (бензин һәм газ) януының ахырында температура.....	118
2.5.2.	Дизельдә яну ахырының температурасы.....	119
2.6.	Киңәю процессы.....	121
2.7.	Эчке янулы двигательнең индикатор күрсәткечләре.....	122
2.8.	Механик югалтуларның басымы.....	122
2.9.	Эчке янулы двигательнең эффектив күрсәткечләре.....	123
2.10.	Төп геометрик параметрлар.....	125
2.11.	Тышкы тизлек характеристикасының төзелеше.....	125
2.12.	Индикатор диаграмманың төзелеше.....	127
2.13.	Кинематик һәм динамик йөкләнешләрнең төзелешләре.....	129
2.14.	Үзгәрүчән йөкләнешне исәпкә алып детальләрне чыдамлылыкка исәпләү.....	133
2.14.1.	Гомуми таләпләр.....	133
2.14.2.	Пешкәк төркемендәге детальләрне исәпләү.....	139
2.14.2.1.	Пешкәк төбен бәйләүче исәпләмә.....	142
2.14.2.2.	Май жиберә торган тишемнәр киселешендә чыдамлылыкка исәпләү.....	143
2.14.2.3.	Пешкәк итәгендә басым көчен исәпләү.....	144
2.14.2.4.	Пешкәк божрасын исәпләү.....	144
2.14.2.5.	Пешкәк бармакчасын исәпләү.....	146
2.14.3.	Шатун төркемендәге детальләрне чыдамлылыкка исәпләү.....	148
2.14.3.1.	Шатунның өске головкасын исәпләү.....	148
2.14.3.2.	Шатунның кривошип головкасын исәпләү.....	153
2.14.3.3.	Шатун кендеген исәпләү.....	154
2.14.3.4.	Шатун болтларын исәпләү.....	155
2.14.4.	Көч шпилькаларын исәпләү.....	156
2.14.5.	Газ бүлү механизмын исәпләү.....	157
2.14.5.1.	Гомуми мәгълүматлар.....	157

2.14.5.2.Клапан пружинасын исәпләү.....	159
2.15. Карбюраторлы двигательнең туендыру системасын исәпләү.....	164
2.16. Майлау системасын исәпләү.....	166
2.16.1. Тышкы элэгүле тешле тәгәрмәчле насосны исәпләү.....	166
2.16.2. Эчке эләктерүле тешле тәгәрмәчле насосны исәпләү.....	168
2.16.3. Шуа торган подшипникны исәпләү.....	170
2.17. Суыту системасын исәпләү.....	171
2.17.1. Насосны исәпләү.....	172
2.17.2. Жилләткечне исәпләү.....	174
3. Исәпләү үрнәкләре.....	176
3.1. Бензин двигателен исәпләү үрнәге.....	176
3.2. Өрдөртүсез дизельне исәпләү үрнәге.....	218
3.3. Газ двигателен исәпләү үрнәге.....	225
Әдәбият.....	235
Эчтәлек.....	236

Учебное издание

Магзумьянов Радик Фаатович

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

***Учебное пособие
(на татарском языке)***

***Рекомендовано Министерством образования
Республики Татарстан в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности
“Автомобили и автомобильное хозяйство”***

Подписано в печать 28.10.09 г.

Формат 60x84/16 Бумага офсетная Печать ризографическая
Уч.-изд.л. 15,1 Усл.-печ.л. 15,1 Тираж 150 экз.

Заказ 1260 /1034

Издательско-полиграфический центр
Камской государственной инженерно-экономической академии

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic@ineka.ru

Учебное издание

Магзумьянов Радик Фаатович

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

***Учебное пособие
(на татарском языке)***

*Рекомендовано Министерством образования
Республики Татарстан в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности
“Автомобили и автомобильное хозяйство”*

Подписано в печать 28.10.09 г.

Формат 60x84/16 Бумага офсетная Печать ризографическая
Уч.-изд.л. 15,1 Усл.-печ.л. 15,1 Тираж 150 экз.
Заказ 1260/1034

Издательско-полиграфический центр
Камской государственной инженерно-экономической академии

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic@ineka.ru

